



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD IZTAPALAPA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**Estudio de la Composición Corporal Funcional
Mediante Bioimpedancia, Calorimetría Indirecta
y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca**

T E S I S

**Para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS (INGENIERÍA BIOMÉDICA)**

P R E S E N T A:

ING. GISELLA YOLANDA BORJA RONCALLO

A S E S O R: M. en C. MIGUEL CADENA MÉNDEZ

Jurado Calificador:

Presidente: M. en C. Miguel Cadena Méndez

Secretario: Dr. Emilio Sacristán Rock

Vocal: Dra. Claudia Lerma González

**México D.F.
Diciembre, 14 de 2010**

DEDICATORIA

*“A mi hija, quien tuvo que crecer lejos de su mamita durante casi tres años.
Sólo ella y yo conocemos el verdadero sacrificio de estar separadas.
Te amo mucho mi hija hermosa”*

*“A mi mamita a la cual le debo todo lo que soy.
Gracias mamita porque antes de irte me enseñaste a ser fuerte
y a soportar los tropiezos de la vida.
Siempre te extrañaré”*

*“A mi familia, papá, hermanos, sobrin@s que nunca se olvidaron de mi,
y siempre han estado apoyándome. Gracias por todo su amor.*

Los amo, Gisella

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma del Caribe, Alma Mater donde inicié mi carrera, y gracias a la cual y en especial a su Rectora la Dra. Silvia Gette Ponce pude continuar creciendo profesionalmente. Gracias por toda su confianza y apoyo.

De manera muy especial agradezco al Centro de Bioingeniería de la Universidad Autónoma del Caribe Cebi-UAC, dado que fue ahí en donde la inquietud por la ingeniería biomédica empezó a despertar en mí. Gracias Alejo, Ivette, Mauricio y Jair, por animarme a nunca desistir. Los quiero mucho.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo y los recursos proporcionados para la realización de mis estudios de maestría y el desarrollo de este proyecto de investigación.

De todo corazón agradezco a mi asesor y profesor el M. en C. Miguel Cadena Méndez, por todas sus enseñanzas, por ayudarme a crecer como investigadora, y en especial por haber sido como un padre para mí. Siempre le estaré agradecida.

A mis sinodales el Dr. Emilio Sacristán Rock y la Dra. Claudia Lerma, por todos sus aportes, observaciones y sugerencias que me permitieron culminar con éxito mi proyecto de investigación. De igual forma, agradezco a la Lic. Magdalena Rodríguez, a la Dra. Norma Ramos y a la Dra. Consuelo Velázquez por el apoyo brindado en la realización de este trabajo, y a todas las personas que colaboraron como sujetos de experimentación.

A FOENZ, por su incondicional apoyo, porque a pesar de la distancia siempre ha estado conmigo en los buenos y malos momentos, dándome ánimo y ayudándome en todo lo que pudiere necesitar. Nunca olvidaré todo lo que haces y has hecho por mí, siempre estarás en mi corazón.

A mis grandes amigos del T-330: Jaime, Ronald, Paco, Alejandro, Hawa y muchos más, porque gracias a ellos muchas veces dejé de sentirme sola y triste. Gracias por brindarme su amistad incondicional y por estar cuando los necesitaba. Nunca me olvidaré de ustedes.

A mis compañeros y amigos del LAMEMyH: Fausto, Humberto, Héctor y Paco, porque logramos hacer un gran grupo y aprendimos de cada uno de nosotros. Especialmente quiero agradecer a Ericka y a Rafael porque además de su amistad me brindaron toda su ayuda para la realización de este proyecto. Gracias a todos y recuerden que siempre pueden contar conmigo.

Finalmente, quiero agradecer a todos los profesores de la UAM-Iztapalapa que de una u otra forma ayudaron a mi crecimiento profesional. De cada uno de Ustedes me llevo grandes enseñanzas y gratos recuerdos.

Gisella Borja R.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
ÍNDICE DE GRÁFICAS	IV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	IV
LISTA DE ABREVIATURAS	1
RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
- CAPÍTULO I -	13

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 – Análisis de la Composición Corporal	15
1.1.1 – Métodos de análisis de composición corporal.....	17
1.1.1.1 – Análisis de carcasas o análisis anatómico	18
1.1.1.2 – Tomografía axial computarizada	18
1.1.1.3 – Resonancia magnética nuclear.....	19
1.1.1.4 – Absorciometría de energía dual de RX.....	19
1.1.1.5 – Ultrasonido diagnóstico.....	20
1.1.1.6 – Medición de pliegues subcutáneos	20
1.1.1.7 – Determinación del índice de masa corporal.....	21
1.1.1.8 – Medición de impedancia bioeléctrica.....	21
1.2 – Balance Energético	23
1.2.1 – Gasto energético.....	23
1.2.2 – Medida del gasto energético	25
1.2.2.1 – Calorimetría directa.....	25
1.2.2.2 – Calorimetría indirecta.....	26
1.3 – Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca	29
- CAPÍTULO II -	31

ANTECEDENTES

2.1 – La Masa Libre de Grasa y el Gasto Energético	33
2.2 – El Sistema Nervioso Autónomo y el Balance Energético.....	33
2.3 – La Grasa Corporal y el Balance Simpato-Vagal.....	35
- CAPÍTULO III -	37

METODOLOGÍA

3.1 – Diseño Experimental.....	39
3.1.1 – Muestra poblacional y condiciones de estudio.....	39
3.1.1.1 – Criterios de inclusión	40
3.1.1.2 – Criterios de rechazo	40

3.1.2 – Protocolo experimental en Fase I (Sujetos en ayunas).....	41
3.1.3 – Protocolo experimental en Fase II (Sujetos en Posprandial).....	42
3.1.4 – Instrumentación	42
3.1.5 – Análisis de datos	43
- CAPÍTULO IV -	47

RESULTADOS

4.1 – Análisis comparativo entre poblaciones de hombres y mujeres	49
4.1.1 – Generación de grupos por criterios de inclusión, exclusión y rechazo	49
4.1.2 – Mediciones antropométricas	50
4.1.3 – Análisis del comportamiento funcional de la Masa Libre de Grasa mediante el Gasto Energético y el Índice Simpato-Vagal	50
4.1.4 – Composición Corporal, Gasto Energético y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca.....	54
4.1.5 – Análisis del comportamiento del Cociente Respiratorio, el Consumo de Oxígeno, la Producción de Bióxido de Carbono y de los Substratos Metabólicos.....	57
4.1.6 – Cambios en el Cociente Respiratorio, en el Consumo de Oxígeno, en la Producción de Bióxido de Carbono y en los Substratos Metabólicos.....	57
4.1.7 – Análisis cualitativo del comportamiento de la Composición Corporal Funcional en un espacio multivariado (MLG, VFC y GE)	58
4.2 – Análisis comparativo entre Fases en la población de mujeres	59
4.2.1 – Análisis del comportamiento funcional de la Masa Libre de Grasa y el Músculo Esquelético mediante el Gasto Energético y el Índice Simpato-Vagal.....	60
4.2.2 – Gasto Energético y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca: Fase I Vs Fase II.....	62
4.2.3 – Análisis del comportamiento del Cociente Respiratorio, el Consumo de Oxígeno, la Producción de Bióxido de Carbono y de los Substratos Metabólicos.....	64
4.2.4 – Cambios en el Cociente Respiratorio, en el Consumo de Oxígeno, en la Producción de Bióxido de Carbono y en los Substratos Metabólicos: Fase I Vs Fase II	65
4.2.5 – Análisis cualitativo del comportamiento de la Composición Corporal Funcional en un espacio multivariado (MLG, VFC y GE)	66
DISCUSIÓN	67
CONCLUSIONES	73
PERSPECTIVAS DE TRABAJO.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 - Representación de los 4 Niveles Estructurales del ACC.....	17
Tabla 1.2 - Clasificación del Estado Nutricional según IMC.....	21
Tabla 3.1 - Metodología Utilizada en las Poblaciones.....	43
Tabla 4.1- Proceso de Aplicar los Criterios de Exclusión y Rechazo para Formar las Poblaciones de Estudio....	49
Tabla 4.2 – Mediciones Antropométricas: Hombres vs Mujeres.....	50
Tabla 4.3 – Masa Libre de Grasa, Músculo Esquelético, Gasto Energético, Índice Simpato–Vagal y Frecuencia Cardíaca: Clinostatismo vs Ortostatismo.....	51
Tabla 4.4 – Coeficientes de Correlación y su Significancia Estadística.....	53
Tabla 4.5 – Cociente Respiratorio, Consumo de Oxígeno, Producción de Bióxido de Carbono y Substratos Metabólicos: Clinostatismo vs Ortostatismo.....	57
Tabla 4.6 – Mediciones Antropométrica: Fase I vs Fase II.....	60
Tabla 4.7 – Masa Libre de Grasa, Músculo Esquelético, Gasto Energético, Índice Simpato-Vagal y Frecuencia Cardíaca: Clinostatismo vs Ortostatismo.....	60
Tabla 4.8 – Coeficientes de Correlación y su Significancia Estadística.....	62
Tabla 4.9 – Cociente Respiratorio, Consumo de Oxígeno, Producción de Bióxido de Carbono y Substratos Metabólicos: Clinostatismo vs Ortostatismo.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Representación simplificada de los modelos compartimentales en el ACC.....	16
Figura 4.1 – Población de Hombres: Correlación entre la MLG, el ME, el GER, el GE y el LF/HF en Fase I.....	52
Figura 4.2 – Población de Mujeres: correlación entre la MLG, el ME, el GER, el GE y el LF/HF en Fase I.....	53
Figura 4.3 – Los bloques “A” y “B” representan los cambios en la magnitud geométrica del ACCF durante la maniobra. Obsérvese que el bloque “A” es más delgado que el bloque “B” principalmente por la diferencia del gasto energético entre poblaciones durante la maniobra clino-orto.....	59
Figura 4.4 – Relación entre la MLG, el ME, el GER, el GE y el LF/HF en Fase I y II.....	61
Figura 4.5 – Los bloques “A” y “B” representan los cambios en la magnitud geométrica del ACCF durante la maniobra y las dos Fases.....	66

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1 – Composición Corporal, Gasto Energético y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca:	54
Hombres vs Mujeres en Fase I	54
Gráfica 4.2 – Gasto energético incremental entre el grupo de Hombres y el grupo de Mujeres por la maniobra clino-orto en Fase I	55
Gráfica 4.3 – Índice Simpato-Vagal incremental entre poblaciones por la maniobra clino-orto en Fase I	56
Gráfica 4.4 – Composición Corporal Funcional Calculada durante la Fase I: Hombres vs Mujeres	56
Gráfica 4.5 – RQ, VO ₂ , VCO ₂ y Substratos Metabólicos: Hombres vs Mujeres	58
Gráfica 4.6 – Gasto Energético y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca: Fase I Vs Fase II.....	62
Gráfica 4.7 – Incremento del Gasto Energético y de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca: Fase I Vs Fase II	63
Gráfica 4.8 – Composición Corporal Funcional Calculada: Fase I vs Fase II.....	64
Gráfica 4.9 – RQ, VO ₂ , VCO ₂ y Substratos Metabólicos: Fase I Vs Fase II	65

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Población “A”	83
Anexo 2: Población “B”	91
Anexo 3: Formato de Consentimiento Informado	99

LISTA DE ABREVIATURAS

ACC	Análisis de composición corporal
ACCF	Análisis de composición corporal funcional
ATP-III	Adult treatment panel III
CD	Calorimetría directa
CI	Calorimetría indirecta
CTG	Cardiotacograma
RQ	Cociente respiratorio
CV	Coefficiente de variación
CCF	Composición corporal funcional
CHO	Carbohidratos
VCO₂	Consumo de bióxido de carbono
VO₂	Consumo de oxígeno
ECG	Electrocardiograma
FC	Frecuencia cardiaca
HF	Frecuencias altas
LF	Frecuencias bajas
VLF	Frecuencias muy bajas
GE	Gasto energético
GER	Gasto energético en reposo
IMC	Índice de masa corporal
LF/HF o ISV	Índice simpato-vagal
MG	Masa grasa
MLG	Masa libre de grasa
MO	Masa orgánica
ME	Músculo esquelético
PCR	Peso corporal real
RC	Riesgo cardiometabólico
RCV	Riesgo cardiovascular
SM	Síndrome metabólico
SNA	Sistema nervioso autónomo
VFC	Variabilidad de la frecuencia cardiaca
VE	Volumen-minuto

RESUMEN

El análisis de la composición corporal (ACC) tiene como objetivo asociar un análisis cualitativo y cuantitativo de los distintos compartimentos del cuerpo humano para determinar la existencia de riesgo fisiopatológico. Sin embargo, las mediciones a través de los diferentes métodos que existen para el ACC son estáticas y presentan un problema fundamental al no considerar la dinámica catabólica compartamental. En consecuencia, la medición dinámica de los cambios catabólicos de la masa libre de grasa (MLG) resulta un enfoque novedoso que puede ser útil para valorar y monitorizar las enfermedades de origen metabólico.

Por tanto, el objetivo de esta tesis fue estudiar un nuevo concepto denominado análisis de la composición corporal funcional (ACCF) como una nueva técnica instrumental que incluye además de la medición de la MLG y la MG, la medición del gasto energético (GE) y la medición del índice simpato-vagal (ISV), utilizando la maniobra clino-ortostática. Esto partiendo de la hipótesis de que el ACCF es capaz de encontrar diferencias entre poblaciones de hombres y mujeres cuando el índice de masa corporal (IMC) es muy semejante y por debajo de los criterios de obesidad.

Se realizó un estudio piloto comparativo entre dos poblaciones de sujetos formadas por hombres (21) y mujeres (32) cuando fue implementado el ACCF durante estado de ayunas. Los resultados obtenidos mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las poblaciones estudiadas en el incremento del GE, cuando pasaron de la posición clinostática a la posición ortostática; la población de hombres incrementó significativamente su GE un 18%, y las mujeres un 5% sin significancia estadística. Se determinó que dicho incremento se deba a un mayor catabolismo de la MLG, que en hombres se asocia a un mayor ISV (0.8 en clino y 2.7 en orto) que explica el consumo de carbohidratos CHO en ayunas (clino: CHO=239±101.8gr/día, orto: CHO=278±92.5gr/día). Contrariamente, en la población de mujeres al no presentarse un incremento significativo clino-ortostatismo en el GE se asocia a una pobre actividad catabólica de la MLG que se refleja en un bajo ISV (0.4 en clino y 1.8 en orto), probablemente por la hiperactividad del parasimpático del sistema nervioso autónomo (SNA), explicando en cierta forma el mayor consumo del substrato de grasas en mujeres (clino: grasas=97±23.7gr/día; orto: grasas=106±20.51gr/día) y marcando una diferencia estadística entre poblaciones ($p<01$). Estos resultados prueban que la hipótesis de trabajo es cierta, existiendo diferencias significativas en el ACCF entre poblaciones, excepto por la posible relación inversa entre la MLG con el GE y el ISV en hombres comparado con la posible relación directa entre estas variables en la población de mujeres.

INTRODUCCIÓN

El análisis de la composición corporal (ACC) se utiliza para conocer las proporciones de los distintos compartimentos (músculo, grasa, agua y minerales) del cuerpo cuando se requiere estimar mediante sus variaciones, más allá de las que suceden por la edad y el crecimiento, el riesgo fisiopatológico en los seres humanos ^[1]. El concepto del ACC contrasta con el uso generalizado de los indicadores de la Adult Treatment Panel III (ATP III) ^[2] para definir el síndrome metabólico y con el uso del índice de masa corporal (IMC) para clasificar sobrepeso y obesidad ^[3]. Cuando el origen de estos índices fue en sus inicios para crear criterios de clasificación epidemiológicos, buscando establecer niveles de riesgo para contraer enfermedades cardíacas o metabólicas, y no precisamente como signos médicos. Así, por ejemplo, dos mismas personas con un mismo IMC (peso/talla²) igual a 25 Kg/m², pueden tener ACC's que se manifiestan con adiposidades centrales y gastos de energía en reposo (GER) completamente diferentes, existiendo la posibilidad de que a uno de ellos se le identifique como una persona ya con el síndrome metabólico (SM) en evolución mientras que al otro no. Esto sin cumplir aun con el criterio de obesidad dado por un IMC mayor a 30 Kg/m² ^[4].

El concepto de ACC se ha desarrollado en forma cada vez más compleja porque ha implicado diseñar métodos para realizarlo que van desde un nivel atómico, molecular, celular, de tejido, de regiones y hasta de compartimentos ^[5]. Esto bajo la idea de que la física, bioquímica y fisiología de los diferentes modelos permiten comprender el metabolismo del cuerpo humano en la salud y enfermedad. Así, el objetivo general del ACC es asociar un análisis cualitativo y cuantitativo de los diferentes compartimentos para determinar la existencia de procesos fisiológicos y patológicos mediante la morfología del cuerpo y de la estructura de los tejidos y órganos ^[6]. Específicamente, hoy en día el objetivo del ACC es establecer índices que cuantifiquen la grasa subcutánea contra la grasa intra-abdominal a manera de atributos más relacionados con el riesgo Cardiometabólico (RC) ^[7].

La complejidad de los modelos que actualmente se utilizan son directamente proporcionales al número de compartimentos asociados a los diferentes métodos del ACC ^[5]. Por lo tanto, un problema general en todos ellos es dimensionar y acotar los rangos en los cuales los compartimentos se encuentran en normalidad o fisiopatología. Por ejemplo, un modelo sencillo de aceptar es el de dos compartimentos, donde el objetivo es la medición de la masa grasa (MG) y la masa libre de grasa (MLG). Específicamente en éste último compartimento se considera que contiene (además de los órganos, el agua corporal total con

un 60 % del ACC, y la densidad mineral ósea) al músculo esquelético que al medirlo en el contexto de todos los componentes se observa una tremenda variabilidad poblacional debido probablemente a la diversidad genética ^[5]. En forma semejante, el compartimento de MG presenta también una alta variabilidad pero más asociada a posibles fisiopatologías donde los valores normales típicos de la MG son entre un 12% a un 20% en hombres y en mujeres de un 20% a un 30% del peso corporal real (PCR). Así, en fisiopatología es común aceptar que porcentajes de MG mayores a 25% en hombres y mayores a 33% en mujeres están asociados a una mayor cantidad de adiposidad central y como consecuencia de ello a un mayor riesgo RC ^[4], el cual se asocia a las alteraciones propias del SM ^[1].

Por otro lado, los métodos de medición para obtener un ACC se clasifican en: (a) métodos directos como son el análisis de carcacas (análisis atómico) por activación de neutrones combinado con la medición por diferencias de densidades al sumergir al cuerpo humano en una cuba con agua, (b) métodos indirectos como son los de imaginología médica incluyendo la tomografía axial computada, resonancia magnética nuclear, absorciometría de energía dual de rayos X y por ultrasonido diagnóstico y (c) métodos doblemente indirectos como son las mediciones antropométricas (medición de pliegues subcutáneos y del IMC) y la medición de bioimpedancia por múltiples frecuencias para determinar la MLG y la MG ^[8]. La complejidad para decidir cuál de los métodos es el más apropiado para realizar un ACC depende del modelo adoptado que define el número de compartimentos, la resolución deseada en las mediciones, la fisiopatología que se busca identificar y los costos tolerables asociados a los estudios de análisis.

El problema que se considera en esta tesis es el que a pesar de los avances sobre el ACC, por los diferentes métodos y modelos compartimentales, aun el estado de la técnica se enfoca principalmente a mediciones anatómicas estáticas que en general se consideran alejadas de una dinámica compartimental funcional. Esto bajo la óptica de que sería deseable, por ejemplo en un modelo de dos compartimentos, cuantificar en forma sencilla: (1) el catabolismo de la MLG pero en condiciones dinámicas, (2) y el grado del desequilibrio endocrino reflejado por la actividad del sistema nervioso autónomo (SNA). Esto último inducido por la presencia de la MG que bien pudiera frenar la actividad dinámica de la MLG como una forma diferente de observar el RC. Es decir, el impacto médico podría estar en detectar tempranamente el RC mediante la idea que la dinámica metabólica de la MLG está asociada al tamaño de la MG,

con poca o nula actividad metabólica, cuando particularmente al cuerpo humano se le somete a un paradigma del tipo estímulo-respuesta.

Así, la propuesta en esta tesis para resolver el problema arriba planteado fue extender el concepto original del ACC hacia la parte funcional metabólica en un modelo de dos compartimentos. Específicamente, se propone redefinir el ACC pero ahora como un “*análisis de la composición corporal funcional*” (ACCF) cuando se logra cuantificar el cambio metabólico de la MLG ante una maniobra del tipo estímulo-respuesta. En la definición de la ACCF se propone el uso de la maniobra clino-ortostática como una forma de generar un incremento catabólico de la MLG, medido éste indirectamente por medio del gasto de energía a nivel de cuerpo entero, y cuantificado su efecto funcional por medio de la medición de la actividad del SNA. Esto último como una consecuencia directa del proceso de adaptación al ortostatismo asociado a la cantidad de la MG.

Las primeras ideas sobre el concepto del ACCF aparecieron en la literatura a partir del 2002 y las bases teóricas se pueden encontrar, por ejemplo, en trabajos como el de S. Heymsfield y asociados, que demostraron que mediante un modelo matemático simple se estableció una correlación lineal entre la MLG y el gasto energético en reposo (GER), haciendo suponer que la medición indirecta de la MLG era suficiente para establecer criterios claros para determinar los requerimientos energéticos del cuerpo humano ^[9]. Contrariamente, S. McCalve y H. Snider ^[10] señalaron que las necesidades energéticas de un mismo grupo de individuos, con una mismo ACC, son dinámicas con una amplia variabilidad catabólica porque tal necesidad energética depende de la edad, de los antecedentes nutricios, del nivel de estrés y de la presencia de posibles enfermedades. Por lo tanto, al comparar estos trabajos se infirió que el GER no es siempre directamente proporcional al porcentaje de la MLG, particularmente cuando se trata de pacientes con alguna disfunción metabólica que puede alterar la capacidad catabólica de la MLG. Una disfunción que es más fácil observarla cuando existe un paradigma del tipo estímulo-respuesta.

En resumen, la propuesta para el ACCF, a manera de una nueva técnica instrumental para valorar los cambios metabólicos en la composición corporal y los mecanismos de control neuronal sobre los mismos, asume la medición de: (a) el gasto energético en la posición clinostática y después en la posición ortostática, (b) la variabilidad de la frecuencia cardiaca

(VFC) en clinostatismo y después en ortostatismo y (c) la medición de la MLG por impedancia en posición ortostática. Todo esto con la idea principal de que el ACCF es capaz de diferenciar fácilmente los cambios de la actividad metabólica de la MLG en personas con incluso el mismo IMC en el rango considerado como normal ($20 < \text{IMC} < 24.9 \text{Kg/m}^2$), los cuales aparentemente tendrían catabolismos semejantes por no encontrarse en desnutrición, sobrepeso u obesidad.

Para demostrar la hipótesis de arriba, esta tesis se orientó a realizar un estudio comparativo entre géneros en dos poblaciones con IMC semejante. Esto con el propósito de establecer las diferencias poblacionales del ACCF a manera de un estudio piloto que pruebe la utilidad de este nuevo concepto. Así, el objetivo general fue implementar el ACCF en dos poblaciones, una de mujeres y otra de hombres, utilizando la maniobra clino-ortostática en fase de ayuno y después en una fase posprandial. Lo anterior, específicamente con la idea de estudiar diferencias significativas en la actividad metabólica de la MLG, correlacionada con el grado de actividad de la VFC y con la diferencia del gasto energético entre clinostatismo y ortostatismo.

HIPÓTESIS

Existen diferencias significativas en el ACCF entre hombres y mujeres con un mismo IMC. Particularmente, en hombres y mujeres se da que a mayor MLG se produce un incremento del GE relacionado con un mayor índice simpato-vagal (ISV) en la VFC.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio piloto para conocer las diferencias del ACCF entre poblaciones de hombres y mujeres con un IMC semejante.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Implementar la técnica instrumental del ACCF utilizando la maniobra clino-ortostática y midiendo: (a) la MLG y MG por bioimpedancia, (b) midiendo el GER (en clinostatismo) y

el GE (en ortostatismo) por calorimetría indirecta y (c) midiendo el índice simpato-vagal (LF/HF) en la VFC en sujetos de experimentación voluntarios.

- Diseñar y aplicar un protocolo experimental en sujetos voluntarios y jóvenes, sometidos a la maniobra clino-ortostática en condiciones de ayuno y posprandial, que se encuentren en condiciones de estacionaridad fisiológica para generar un estudio pareado por medición del coeficiente de variación (CV) en el consumo de oxígeno (VO_2).
- Capturar y analizar los datos para justificar posibles diferencias en el ACCF entre mujeres y hombres. Específicamente para establecer diferencias estadísticas significativas en las mediciones del gasto energético en clinostatismo y en ortostatismo. Además de las diferencias estadísticas en la utilización de los substratos metabólicos.

- CAPÍTULO I -

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 – Análisis de la Composición Corporal

El estudio o análisis de la composición corporal (ACC) es uno de los aspectos más importantes relacionados con la nutrición, tanto por sus aplicaciones en el área clínica como en salud pública ^[11]. El conocimiento de la composición corporal es imprescindible para comprender el efecto que tiene la dieta, el crecimiento, la actividad física y otros factores del entorno sobre el organismo. Asimismo, es de gran aplicación en el seguimiento de pacientes con malnutrición aguda o crónica, bien sea por exceso o por déficit de alimentos, además de contribuir al diagnóstico, tratamiento y evaluación de patologías de elevada incidencia y prevalencia; por último, puede resultar de utilidad en la prevención e identificación temprana de enfermedades degenerativas asociadas a un exceso de grasa corporal (tales como la obesidad, hipertensión, diabetes y dislipemias) ^[12].

Aunado a esto, el ACC se utiliza para conocer las proporciones de los principales componentes del cuerpo humano, esto con el fin de poder estimar su variación con la edad, crecimiento y otras situaciones patológicas ^[13]. Estos componentes coinciden con los nutrientes que el cuerpo humano demanda, es decir: hidratos de carbono, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales además de agua. La mayor parte de ellos conforman la estructura esencial del cuerpo, pero también hay una parte de ellos que son reservas y se pueden movilizar en casos de necesidad ^[11].

En consecuencia y para llevar a cabo el ACC, el cuerpo humano ha sido dividido en diferentes modelos compartamentales ^[13], según el número y tipo de componentes que se quiera analizar. En la Figura 1.1 se representa gráficamente las tres divisiones más utilizadas, en las que el ACC se puede llevar a cabo a través de 2, 3 o 4 compartimentos.

En una primera aproximación, la división del cuerpo humano se realiza en dos compartimentos: masa grasa (MG) y masa libre de grasa (MLG), la suma de los cuales constituye el peso corporal. A pesar de que esta división incluye a todos los tejidos no grasos en un solo compartimento, desde el punto de vista clínico, tanto práctico como de investigación, el modelo de los dos compartimentos puede resultar con una alta fidelidad como para facilitar mediciones longitudinales de los cambios de composición corporal por distintas

condiciones dietéticas y/o patológicas. En valores medios, la distribución de porcentajes de estos dos componentes para personas adultas resulta en 72% MLG y 28% MG en mujeres, y en 85% MLG y 15% MG en hombres ^[11]. En una segunda aproximación, la MLG puede pormenorizarse en dos componentes: el agua y componentes sólidos, representando el modelo de 3 compartimentos. Y en una tercera aproximación, los componentes sólidos pueden ser divididos en proteínas y minerales, para establecer una división de 4 compartimentos, tal y como se muestra en la Figura 1.1.

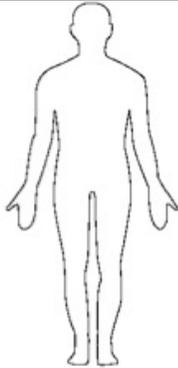
1 compartimiento	2 compartimentos	3 compartimentos	4 compartimentos
	masa grasa	masa grasa	masa grasa
	masa libre de grasa	agua	agua
		sólidos	proteínas
			minerales

Figura 1.1 – Representación simplificada de los modelos compartimentales en el ACC

Adicional a los modelos compartimentales, la composición corporal puede ser analizada a partir de modelos basados en diferentes niveles estructurales como son el anatómico, molecular, celular y tisular para poder representar el peso corporal total (PCT). La Tabla 1.1 presenta a detalle los componentes de cada nivel ^[14]. Cada uno de estos niveles es distinto, no se sobreponen y la suma de todos sus componentes equivale al peso corporal total ^[15]. Así la estructuración por niveles, permite realizar un ACC de manera global para todo el organismo, o de modo parcial para algún segmento o región corporal.

Tabla 1.1 - Representación de los 4 Niveles Estructurales del ACC

Nivel	Modelo de composición corporal	Nº de componentes
I. Anatómico	$PCT = O+C+H+N+Ca+P+K+S+Na+Cl+Mg$	11
II. Molecular	$PCT = MG+agua+P+MTB+MTO+glucógeno$	6
	$PCT = MG+agua+sólidos\ no\ grasos$	3
	$PCT = MG+MNG$	2
III. Celular	$PCT = MC+LE+SE$	3
IV. Tisular	$PCT = TA+TO+TM+otros\ tejidos$	4

PCT: peso corporal total, LE: líquido extracelular; MC: masa celular; MCC: masa celular corporal; MG: masa grasa; MNG: masa no grasa; MTB: masa tejidos blandos; MTO: masa tejido óseo;; SE: sólidos extracelulares; TA: tejido adiposo; TM: tejido muscular esquelético; TO: tejido óseo.

1.1.1 – Métodos de análisis de composición corporal

La complejidad para decidir cual de los métodos es el más apropiado para realizar un ACC depende del modelo adoptado que define el número de compartimentos, la resolución deseada en las mediciones, la fisiopatología que se busca identificar y los costos tolerables asociados a los estudios de análisis. Los métodos se clasifican en ^[8]:

- *Métodos directos* - como lo son el análisis de carcasas o análisis anatómico, por la activación de neutrones combinado con la medición por diferencias de densidades al sumergir el cuerpo humano en un tanque con agua.
- *Métodos indirectos* - de imaginología médica como son la tomografía axial computarizada, la resonancia magnética nuclear, la absorciometría de energía dual de RX, y el ultrasonido diagnóstico.
- *Métodos doblemente indirectos* - tales como las mediciones antropométricas (medición de pliegues subcutáneos y la determinación del índice de masa corporal) y la medición de la impedancia bioeléctrica.

A continuación se describe a detalle las características principales de cada método.

1.1.1.1 – Análisis de carcasas o análisis anatómico

El método consiste en la inmersión completa del paciente en un tanque lleno de agua, mientras se encuentra suspendido en una balanza, para determinar su peso hidrostático después de haber realizado una espiración máxima. A partir del principio de Arquímedes “*el volumen del objeto sumergido es igual al volumen del agua desplazada por dicho objeto*”, se puede estimar el volumen corporal aparente a partir de la diferencia entre los pesos fuera y dentro del agua^[11]. Una vez obtenido este volumen y la densidad corporal puede calcularse los compartimentos de MG y MLG, asumiendo como constantes la densidad de cada uno de los componentes. Una de las desventajas que presenta esta técnica, es que a la hora de realizar la estimación, no es posible descartar el volumen o capacidad residual pulmonar y del gas intrainestinal.

1.1.1.2 – Tomografía axial computarizada

La tomografía axial computarizada es un método diagnóstico que consiste en irradiar un segmento del individuo con haces de rayos X cuya atenuación después de haber atravesado el cuerpo, está en relación directa con la densidad de los tejidos que encuentran en su trayecto. Esta técnica se ha utilizado en la medida de composición corporal principalmente para: a) determinar el contenido de MG y MLG de segmentos corporales. b) diferenciar entre grasa subcutánea y grasa central a nivel del tronco en individuos obesos y c) determinar el contenido mineral del hueso, aunque las técnicas de absorciometría dual de rayos X son de primera elección^[16].

La técnica de tomografía se considera como un método de referencia para estudiar la distribución de la grasa corporal y además para validar el uso de otras técnicas (resonancia magnética nuclear, absorciometría de rayos X), sin embargo sus principales inconvenientes son la radiación a la que debe ser sometido el paciente para poder ser evaluado, y el alto costo del estudio que es de 300 USD aproximadamente.

1.1.1.3 – Resonancia magnética nuclear

La técnica de resonancia magnética nuclear se basa en el hecho de que ciertos núcleos atómicos pueden comportarse como imanes alineándose en la dirección de un campo magnético externo. Al hacer pasar a través del cuerpo una onda de radiofrecuencia, los núcleos estimulados absorben parte de la energía de la onda, cambiando la orientación hacia el campo magnético. Y a partir de la intensidad y frecuencia de la señal de radio liberada por los núcleos activados, se podrán conseguir imágenes de los tejidos estudiados. El átomo de hidrógeno es el más abundante del organismo y la sensibilidad de la resonancia para detectarlo es muy alta. Este equipo se ha utilizado en el ACC en la determinación de agua corporal total y para cuantificar la MG corporal total ^[11, 16].

La gran ventaja de la resonancia magnética nuclear es que es un método inocuo para el paciente y que requiere de poca colaboración del mismo; se oponen su elevado costo y lentitud del procedimiento en la determinación del ACC ^[16].

1.1.1.4 – Absorciometría de energía dual de RX

Es una técnica que se basa en la emisión de un haz de fotones, utilizando un tubo de rayos X como fuente para producirlos. Consiste en medir la atenuación diferencial de haces de rayos X de dos energías discretas y diferentes, cuando éstas atraviesan un tejido. Dicha atenuación dependerá de la intensidad del haz al salir de emisor y de la estructura, espesor y componentes del tejido atravesado ^[11].

Con esta técnica es posible distinguir entre la masa ósea, la MLG no ósea, y la MG con una buena resolución ^[17] (mejorando la calidad de imagen y el tiempo de exposición, en comparación con la absorciometría de fotón de energía única). A pesar de ello, sus limitaciones son el incremento progresivo del error cuando aumenta la corpulencia del individuo y la dificultad para detectar cambios bruscos de ACC, además del elevado costo de instalación ^[17].

1.1.1.5 – Ultrasonido diagnóstico

El ultrasonido puede definirse como un medio diagnóstico médico basado en las imágenes obtenidas mediante el procesamiento de los ecos reflejados por las estructuras corporales, gracias a la acción de pulsos de ondas ultrasónicas ^[18]. Es una técnica de imagen no invasiva que permite la evaluación del sistema musculoesquelético en tiempo real, con la ventaja de examinar las articulaciones en forma dinámica; permite además evaluar fenómenos inflamatorios locales sin necesidad de someter al paciente a técnicas de imagen por radiación ionizante. Su principal desventaja recae en que la generación de la imagen es dependiente del operador, el cual debe tener un amplio conocimiento de los principios físicos de la técnica ^[18].

Es una técnica ampliamente utilizada en la medicina, pero por su costo y menor precisión para estimar la MG aún no consigue desplazar a otras técnicas tradicionales en medicina, por ejemplo el lipocalibrador para determinar la grasa subcutánea periférica en estudios epidemiológicos ^[19].

1.1.1.6 – Medición de pliegues subcutáneos

Los pliegues subcutáneos son medidas del tejido adiposo en la región subcutánea, ya que en esa zona está localizado uno de los mayores depósitos de grasa en humanos (aproximadamente constituye el 50% de la grasa corporal total ^[13]). Dichas medidas han demostrado ser bastante aproximadas para la grasa subcutánea en un lugar o zona determinada, y existe evidencia que apoya el hecho de que la suma de varios pliegues obtenidos en diferentes sitios del cuerpo, dan una buena medida de la grasa subcutánea total ^[11,20].

La medición de pliegues subcutáneos calculan el grosor de la grasa depositada directamente debajo de la piel. Generalmente se requieren tres o más sitios para medir el espesor de la piel y los resultados se utilizan en una ecuación para calcular el porcentaje de grasa corporal. Además, se requiere que el personal que realice este tipo de medición posea un conocimiento amplio de la técnica.

1.1.1.7 – Determinación del índice de masa corporal

El índice de masa corporal (o índice de Quetelet), es uno de los indicadores más frecuentemente utilizados por la facilidad de su estimación e independencia de la talla. Se calcula a partir del peso corporal (en kilogramos) dividido por el cuadrado de la talla (estatura en metros), en una relación tal y como se muestra en la ec. 1.1.

$$IMC = \text{Peso (kg)} / \text{Talla}^2 \text{ (m)} \quad \text{ec. 1.1}$$

Así de acuerdo al IMC es posible clasificar a un individuo en diferentes categorías según su estado nutricional como se muestra en la Tabla 1.2 [3]. No obstante este índice tiene ciertas desventajas: no es posible cuantificar la grasa corporal ni su ubicación, tampoco es posible discriminar entre tejido graso y magro, pudiendo por tanto clasificar como sobrepeso u obesidad a una persona con un excesivo desarrollo de tejido muscular o como normopeso a una persona que ha perdido masa magra incrementando su grasa corporal, como ocurre en la vejez.

Tabla 1.2 - Clasificación del Estado Nutricional según IMC	
Clasificación	IMC
Bajo peso	< 18.5
Normopeso	18.5 - 24.9
Sobrepeso	25.0 - 29.9
Obesidad grado 1	30.0 - 34.9
Obesidad grado 2	35.0 - 39.9
Obesidad grado 3	> 40

1.1.1.8 – Medición de impedancia bioeléctrica

El método para determinar la impedancia bioeléctrica (IB) se basa en la naturaleza de la conducción de una corriente eléctrica a través del organismo. En la mayoría de estructuras biológicas, la aplicación de una corriente alterna constante y de baja intensidad produce una posición o impedancia dependiente de la frecuencia de flujo de dicha corriente [21]. Los organismos vivos contienen agua y electrolitos intra y extracelulares, componentes

principalmente de la MLG, que se caracterizan por presentar una alta conductividad y una baja impedancia; membranas celulares, que se comportarían como elementos reactivos imperfectos, y grasa (considerada anhidra), dotada de una baja conductividad y alta impedancia.

Como ventajas, cabe destacar su bajo precio, facilidad en transporte del aparato, inocuidad, necesidad de poca colaboración por parte del paciente, sencillez de manejo y baja variabilidad interobservador. Estas dos últimas junto con la posibilidad de utilizarla en obesos, son las características que están imponiendo el uso de la IB como método de elección para determinar el ACC tanto en clínica como en epidemiología en detrimento de la antropometría. No obstante, no existe todavía un acuerdo entre autores sobre si su precisión es mayor o menor que la medida de los pliegues cutáneos en esas circunstancias ^[16].

El Inbody® es un instrumento que utiliza el principio de la bioimpedancia eléctrica para medir la composición corporal ^[22]. La medición se realiza en 5 componentes independientes: las 4 extremidades (brazos y piernas) y el tronco. Este último al estar ocupado por varios órganos internos, presenta características metabólicas diferentes a las del resto del cuerpo. Por lo que requiere ser medido con mayor precisión, pues presenta una resistencia al paso de la corriente muy baja en comparación con la resistencia que presentan los brazos y piernas. La resistencia de las extremidades se encuentra dentro del rango de los 200-500 Ω , mientras que la del tronco, a pesar de que acumula aproximadamente un 50% del peso corporal, se encuentra entre los 20-30 Ω .

La fuerza de penetración que tiene la corriente eléctrica depende de su frecuencia. A bajas frecuencias, la corriente viaja sobre las células corporales pero no tiene la fuerza de poder penetrar la pared celular, por lo que la medición que es posible realizar con este tipo de frecuencias es básicamente del líquido extracelular. Por otro lado, a mayores frecuencias, es posible penetrar la pared celular con lo que se llega a medir el contenido intracelular ^[22].

En consecuencia, el Inbody® utilizando una mezcla de bajas y altas frecuencias (1k, 10K, 50K y 100 kHz), es capaz de medir con mayor precisión el contenido extra e intra celular por separado. Además de que el uso de varias frecuencias, le permite determinar mayor información de la composición corporal, pues se obtienen un mayor número de valores de resistencia ^[22].

1.2 – Balance Energético

El balance energético se define por medio de la relación que se da entre la ingesta y el gasto energético, aplicado al cuerpo humano. Así, un balance energético equilibrado es aquel en que el gasto es igual a la ingesta ^[11]. Cuando esto no sucede, se producen situaciones que siguen la primera ley de la termodinámica (“*en cualquier cambio físico, la suma de masa y energía permanece siempre constante*”); así un exceso de ingesta energética respecto al gasto dará lugar a un aumento de masa corporal. Es decir, el balance energético es positivo, mientras que un balance energético negativo, se presenta cuando existe una menor ingesta respecto al gasto.

1.2.1 – Gasto energético

La energía metabólica es una energía bioquímica contenida en los enlaces de las moléculas de nutrientes energéticos absorbidos. Sin embargo, esta energía no puede utilizarse como tal, sino que el nutriente que la aporta tiene que sufrir una serie de reacciones de oxidación celular, para generar finalmente adenosín trifosfato (ATP), siendo una parte importante perdida como calor ^[11]. En esta conversión aproximadamente un 40% de la energía química del alimento se disipa en forma de calor. El 60% restante, que permanece en forma de ATP, se utiliza para llevar a cabo la contracción muscular, el mantenimiento de los gradientes iónicos a través de las membranas y la síntesis de nuevas moléculas, entre otras funciones.

En términos específicos, un adulto varón de referencia con 70 kg de peso, requiere 2500 kcal, las cuales debe ingerirlas para lograr un adecuado balance energético. El sujeto en cuestión disipa 1000 kcal en forma de calor y con las restantes 1500 kcal, lleva a cabo todas las funciones de su organismo. El calor generado es la forma adecuada para mantener la temperatura corporal, excepto cuando la temperatura ambiental sea tan baja, que la capacidad de producir calor no pueda llegar a alcanzar la temperatura de 37°C requerida por el cuerpo. La energía restante se va a destinar a cubrir principalmente a los siguientes componentes del gasto energético:

- (a) *Metabolismo basal, o energía necesaria para mantener las funciones fisiológicas esenciales.*

- (b) *Gasto energético por actividad física, o energía destinada a la contracción muscular y desplazamientos.*
- (c) *Efecto térmico de los alimentos, o termogénesis obligatoria para la utilización digestiva y metabólica de los nutrientes.*
- (d) *Termogénesis facultativa, o energía de adaptación que el organismo destina a modular/ajustar el balance energético y que suele desprenderse en forma de calor.*

El metabolismo basal constituye un gasto energético constante o básico, característico de cada individuo, y que no debe modificarse salvo alteración patológica del mismo. Por el contrario, el gasto energético por actividad física y otros procesos termógenos son gastos variables y contingentes, que pueden modificarse (especialmente debido a la actividad física), y que se destinan al trabajo muscular, el mantenimiento de una temperatura constante frente a cambios ambientales, para el aprovechamiento digestivo y metabólico de los nutrientes ^[11]. La termogénesis adaptativa viene regulada a nivel central y tisular, respondiendo a cambios de temperatura y a la dieta por activación de la actividad de las mitocondrias. En este proceso participa el sistema nervioso simpático, las proteínas desacoplantes mitocondriales y la leptina ^[11].

El metabolismo basal corresponde al gasto energético que necesita el organismo para el mantenimiento de las funciones fisiológicas esenciales, sin las cuales son imposibles las mismas y la homeostasis. El metabolismo basal constituye normalmente la fracción cuantitativa más importante del gasto energético total, pudiendo llegar a representar hasta un 60-70% del mismo ^[11]. Este componente de gasto energético corresponde a la suma de los gastos metabólicos de cada uno de los órganos y sistemas, fundamentalmente corazón, hígado, sistema nervioso, riñón y músculo. El calor producido, como consecuencia del gasto energético en tejidos, permite normalmente alcanzar una temperatura corporal que exige su condición de ser homeotermo. El metabolismo basal puede considerarse un indicador global de normalidad fisiológica de carácter energético. Por ello es conveniente tener en cuenta dos aspectos fundamentales: (a) *una desviación o alteración del mismo indica una anormalidad del rendimiento energético corporal;* (b) *salvo anormalidad del valor de metabolismo basal, no existe ninguna razón para modificarlo, buscando aumentos o disminuciones del mismo.*

Por su parte, el efecto termogénico del ejercicio es el segundo gran componente del gasto energético total, pudiendo representar normalmente de un 20 a un 40% del mismo, aunque puede variar notablemente entre individuos en función de la actividad realizada ^[11]. El ser humano raras veces se encuentra en condiciones metabólicas basales y tan solo las horas de sueño se aproximan a los valores intrínsecamente basales. El resto del día, bien como consecuencia de la ocupación laboral y de la actividad durante el período de ocio, higiene, etc., se desarrolla una actividad física de mayor o menor intensidad, que conlleva el correspondiente gasto energético. El consumo calórico por actividad física es el componente más variable, de modo que en determinados tipos de ejercicio, en donde hay una gran actividad física, se pueden alcanzar aumentos proporcionales al gasto energético en reposo.

1.2.2 – Medida del gasto energético

Las técnicas de calorimetría son las que en la actualidad se utilizan para determinar cualquiera de los componentes del GE, ya sea por el metabolismo basal o el GE que requiere cualquier actividad física u otros procesos corporales. Estas técnicas pueden ser directas o indirectas:

1.2.2.1 – Calorimetría directa

El método de calorimetría directa (CD) consiste en la medición del calor (de radiación, convección y evaporación) generado por el individuo dentro de una cámara o habitación, mientras realiza una actividad normal. Se basa en el principio de que el calor liberado por el organismo es producto de la energía gastada ^[13]. Este método es el más confiable y utilizable cuando se desea conocer el gasto energético durante largos periodos de tiempo, pero precisa de laboratorios específicos de investigación y de la colaboración especial del paciente, por lo que es un método que no se emplea en niños.

La energía bioquímica del catabolismo se destina a cubrir los gastos energéticos que representan el metabolismo basal, la actividad física, el mantenimiento de la temperatura y el desprendimiento de calor a acumularse. Dicho de otra manera, la energía bioquímica de los alimentos termina en convertirse en energía de trabajo, térmica y/o de reserva.

La realización del correspondiente trabajo, siguiendo la primera ley de la termodinámica, conduce a que la energía se convierta finalmente en energía térmica. Como consecuencia, el gasto energético total puede determinarse midiendo la cantidad de calor producida por el organismo, y de ahí la denominación de calorimetría directa.

Este método se lleva a cabo en cámaras herméticas, con paredes aislantes, dónde se confina al individuo y se registra el calor almacenado y el perdido por radiación, convección y evaporación. Esta medida precisa un mínimo de seis horas para estabilizar el sistema y debe integrar las pérdidas de calor durante dos horas. Como se puede deducir, representa una metodología muy laboriosa y compleja, por lo tanto, no utilizable habitualmente. Por otra parte, la gran concordancia de valores se obtiene utilizando otros procedimientos que hace que su uso esté restringido a programas de investigación o para validar los métodos indirectos.

La tradicional cámara de Atwater para calorimetría directa es capaz de medir el calor producido por un hombre con una exactitud del 0,1%^[11]. El calor producido se absorbe por el agua que pasa a través de la cámara, y se puede cuantificar mediante termómetros o termosensores, que registran la temperatura de la misma entrada y salida de la cámara en un tiempo determinado.

También se ha utilizado, en la cuantificación del gasto energético, una especie de traje enfriado por agua, que tiene la ventaja de una mayor movilidad del sujeto con respecto a la cámara de calorimetría directa.

1.2.2.2 – Calorimetría indirecta

La calorimetría indirecta (CI) es el método más utilizado tanto en investigación como en clínica y resulta ideal para la medición del gasto energético en reposo (GER) del paciente, debido a que es completamente incruento. Para conocer las bases de la CI se debe recordar que los procesos de oxidación de nutrientes energéticos consumen oxígeno (O₂) y producen dióxido de carbono (CO₂), existiendo una relación constante entre la cantidad de O₂ consumido (VO₂) y la cantidad de CO₂ producido (VCO₂) por gramo de cada uno de los substratos oxidados (carbohidratos, grasa y proteínas)^[11,13]. Todo lo anterior es cierto siempre y cuando existan condiciones de medición que garanticen la estabilidad fisiológica estacionaria de los pacientes o sujetos bajo estudio. Así, la condición de estacionalidad se

mede con el coeficiente de variación del VO_2 y comúnmente se refiere a las condición supina de los pacientes y no a la condición de ortoestaticidad.

La CI consiste en medir el VO_2 y VCO_2 para deducir la cantidad de energía producida por el organismo. Esta técnica, unida a la medición urinaria de nitrógeno, permite evaluar también la utilización de los substratos metabólicos administrados.

La forma principal de obtener la CI es la de circuito abierto para capturar los gases espirados, ya sea mediante una campana (cannopy) o una máscara, donde en la primera se coloca la cabeza del paciente, cerrada a nivel del cuello por un tejido impermeable a gas. El calorímetro cuantifica las fracciones de O_2 y CO_2 del aire que entrará a la campana y por otra parte cuantifica las fracciones de O_2 y CO_2 del gas extraído de la misma a un flujo constante [10]. El gran interés de la CI reside en poder realizar un soporte nutricional lo más óptimo posible al conocer el gasto energético y la utilización de los macronutrientes.

Cálculo del gasto energético y de la utilización de los substratos - Los macronutrientes necesitan de oxígeno para ser oxidados, dando lugar a la producción de anhídrido carbónico, agua y calor. La cantidad de calor que produce la oxidación de un nutriente es proporcional al oxígeno consumido. La determinación del O_2 empleado permite conocer el calor que produciría y, por tanto, el gasto energético asociado.

El GE se puede calcular por la técnica de CI utilizando la ecuación de Weir [23]:

$$GE = (3.94 \cdot VO_2) + (1.11 \cdot VCO_2) \quad \text{ec. 1.1}$$

La composición de los substratos en el catabolismo se pueden estimar por medio del Cociente Respiratorio (RQ) que en condiciones de estacionaridad es igual a la tasa metabólica (TM) y se expresa por la siguiente ecuación:

$$RQ = TM = VCO_2 / VO_2 \quad \text{ec. 1.2}$$

El RQ del catabolismo de la glucosa, grasas y proteínas se puede calcular por medio de un balance de masa que proporciona los siguientes valores aproximados:

Glucosa:



$$RQ = 6\text{volCO}_2 / 6\text{volO}_2 = 1.00 \quad \text{ec. 1.4}$$

Grasas:



$$RQ = 102\text{volCO}_2 / 145\text{volO}_2 = 0.703 \quad \text{ec.}$$

1.6

El cálculo del RQ de las proteínas es difícil de calcular porque hay O₂ y CO₂ que permanece combinado a las cadenas que constituyen los aminoácidos y éstos son eliminados juntos con los compuestos nitrogenados por vía la orina y las heces fecales. Sin embargo, de forma indirecta se ha calculado que la proteínas tienen un RQ = 0.82 [24,25,26].

Técnicas instrumentales para calorimetría indirecta - Actualmente, existe una variedad importante de instrumentos comerciales que implementan la técnica de CI, los cuales se conocen como calorímetros. Estos equipos consideran el valor promedio del VO₂ y del VCO₂ como la característica más importante para calcular el GE y el RQ. El desvío estándar del valor promedio es considerado como información fisiológica irrelevante, excepto para valorar la estacionaridad de las mediciones mediante el criterio de que éstas son confiables si el coeficiente de variación (CV) es menor al 10% [27].

El estado actual de la técnica estima el valor promedio del VO₂ y del VCO₂ por dos caminos: el primero de ellos es utilizando una cámara de mezcla (CM), y el segundo es a partir de mediciones respiración a respiración (RaR) [28]. En el primer camino los gases espirados son promediados y homogenizados mediante una cámara de mezcla, la cual actúa como un promedio móvil pasa-bajos, para no comprometer los tiempos de respuesta del O₂ y del CO₂, calculando el valor promedio final mediante varias lecturas promediadas. En esta técnica de cámara de mezcla la frecuencia respiratoria juega un papel importante, ya que es la encargada de comandar el filtro de promedio móvil. En la técnica de RaR el valor promedio se estima a partir de mediciones de respiración a respiración en ventanas de diferente duración para capturar un número suficiente de respiraciones para tener un buen estimado de las características del proceso estocástico continuo en el tiempo.

1.3 – Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca

En los últimos años, se ha reconocido la relación que existe entre el funcionamiento del sistema nervioso autónomo (SNA) y la mortalidad cardiovascular. Esto ha motivado la búsqueda de marcadores cuantitativos que permitan determinar el balance autonómico; la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) representa uno de los marcadores más promisorios ^[29]. La VFC se define como la variación que ocurre en el intervalo de tiempo entre latidos consecutivos y se ha propuesto que su comportamiento depende de la modulación autonómica, así como sus implicaciones en la mortalidad cardiovascular ^[30]. De forma muy simplificada, la VFC se obtiene a partir de la determinación del tiempo entre ondas R sucesivas o intervalos RR, de un ECG. Este intervalo RR representa el periodo cardiaco, y su inverso la respectiva frecuencia cardiaca. La serie de intervalos RR es lo que se conoce como la VFC.

Cuando se analiza un fenómeno, se puede describir su comportamiento en el tiempo (utilizando métodos en el dominio del tiempo), pero cuando el fenómeno es periódico, además se puede analizar en función de la frecuencia de aparición de dicho fenómeno, asumiendo que éste es un fenómeno ondulatorio (utilizando métodos en el dominio de la frecuencia).

El objetivo de evaluar la VFC es encontrar una correlación con adaptaciones fisiológicas a cambios en el medio interno, externo y a la presencia de enfermedades. Para lo cual, los métodos más aceptados actualmente son los métodos del dominio de la frecuencia (análisis espectral) y los métodos del dominio del tiempo.

Para el análisis de la VFC se utiliza el cardiograma (CTG), que es una representación gráfica del registro de la frecuencia cardiaca en el tiempo y que tiene semejanza a una onda compleja con aspecto ruidoso. Esta onda compleja, esta compuesta por una suma de ondas más simples que pueden ser identificadas por medio de varias técnicas matemáticas, como el análisis espectral ^[30].

El análisis espectral consiste en descomponer el CTG, para correlacionar fisiológicamente los distintos componentes espectrales obtenidos. Con este análisis espectral, se obtiene un gráfico con el cual es posible observar los componentes de la onda compleja en frecuencia y magnitud. La interpretación de esta información depende del sistema que se vaya a estudiar.

En el caso de la VFC la correlación fisiológica de los componentes de frecuencias muy bajas (VLF), aún no han sido definidos ^[31]. Por su parte, los componentes de baja frecuencia (LF) y de alta frecuencia (HF), se han asociado con la modulación del sistema nervioso autónomo; se relaciona la LF con la modulación del simpático y parasimpático, y el HF de una forma más específica con el parasimpático ^[32].

Para la interpretación de los componentes espectrales de la VFC se recomienda relacionar la actividad vagal como el mayor contribuyente del componente HF ^[30]. Algunos estudios sugieren que el componente de LF es un marcador cuantitativo de la modulación simpática; otros estudios ven al componente LF como un reflejo de la actividad simpática y vagal. A consecuencia de lo anterior, se considera a la relación LF/HF como una imagen del balance simpático-vagal o el reflejo de modulaciones simpáticas ^[30].

Por su parte, los métodos del dominio del tiempo, son básicamente estadísticos y evalúan la variabilidad por medio de promedios y desviaciones estándar. Son los más simples de realizar pero a su vez los más difíciles de interpretar ^[30].

- CAPÍTULO II -

ANTECEDENTES

2.1 – La Masa Libre de Grasa y el Gasto Energético

La MLG es la que determina principalmente el GER. Sin embargo, el GER por unidad de MLG no es constante sobre todo el rango de la MLG ^[33]. La pendiente del GER sobre la MLG es baja para valores altos de MLG y viceversa, es alta para valores bajos de MLG. La composición de la MLG puede explicar este fenómeno. La MLG se compone de tejidos y órganos metabólicamente activos, y de tejidos con una tasa metabólica baja (hueso, masa extracelular). Dentro de la MLG metabólicamente activa se encuentra el Músculo Esquelético (ME) y los órganos (cerebro, corazón, hígado y riñones). El ME y la masa orgánica (MO) difieren sustancialmente en su masa y en sus tasas individuales de GE ^[34]. La tasa metabólica de los órganos por Kg de MO varía entre 200 y 440 Kcal para órganos internos y entre 13 y 15 Kcal para el ME. Las variaciones en el GER relacionadas al tamaño corporal son consideradas que son causadas por (1) las contribuciones proporcionales de diferentes MO a la MLG, y/o (2) variaciones en la tasa metabólica orgánica. Asumiendo una tasa metabólica constante por Kg de MO algunos autores propusieron que las distintas contribuciones anatómicas del músculo y no músculo de la MLG metabólicamente activa en diferentes pesos corporales pueden explicar parte de la no-linealidad del GE sobre la MLG ^[35,36]. Esta hipótesis fue probada en pocos estudios mostrando discrepancia en los resultados.

2.2 – El Sistema Nervioso Autónomo y el Balance Energético

El metabolismo está influenciado por la inervación del SNA (principalmente por el simpático) y por las catecolaminas en el plasma. Esta influencia puede ocurrir a través de acciones directas de las catecolaminas en el tejido metabólicamente activo, o como una consecuencia de las alteraciones en las principales hormonas que regulan el metabolismo ^[37].

El sistema nervioso simpático tiene efectos directos sobre el metabolismo de carbohidratos (CHO) y grasa, pero no existe evidencia, de que los tenga en el metabolismo de las proteínas ^[37].

El mantenimiento adecuado de un suministro de glucosa al tejido neural es un componente fundamental de la homeostasis. Los CHO son almacenados en el hígado y en el músculo esquelético como glucógeno, bajo la influencia de la insulina liberada de las células- β de los islotes de Langerhans en el páncreas. Durante periodos prolongados de hambre, el glucógeno almacenado en el hígado es utilizado para producir glucosa libre, para mantener una adecuada concentración de glucosa en la sangre. Por otro lado, durante periodos cortos de hambre, la glucosa en la sangre es mantenida principalmente por procesos de glucogenólisis en el hígado (degradación del glucógeno para producir glucosa) y parcialmente por la gluconeogénesis (síntesis de glucosa a partir de lactato, piruvato y aminoácidos) ^[37].

La adrenalina estimula la glucogenólisis vía la activación de β -adrenoreceptores, pero no tiene una principal contribución durante periodos cortos de ayuno. Existe evidencia de que los pequeños componentes de glucogenólisis hepática después de una noche de ayuno se deben a la activación de α -adrenoreceptores, probablemente a través de la inervación simpática del hígado. Esta inervación provoca que durante una estimulación simpática del hígado se incremente la glucogenólisis y por tanto la liberación de glucosa, pero no existe evidencia que la misma inervación este relacionada con el metabolismo carbohidrático durante condiciones normales ^[37].

Por otro lado, los principales efectos metabólicos del sistema simpatoadrenal, se encuentran bajo el control del metabolismo de las grasas. El almacenamiento de ácidos grasos como triglicéridos en tejidos adiposos, es regulado por la insulina que estimula el proceso de almacenaje e inhibe la lipólisis (degradación de triglicéridos en ácidos grasos libres y glicerol). Este proceso se incrementa si los niveles de insulina en la sangre son bajos, pero la principal estimulación de la lipólisis se consigue ante la presencia de diferentes hormonas (como la adrenalina), y por la inervación simpática en el tejido adiposo ^[37].

En periodos cortos de ayuno (hasta 20 horas), pareciera que existe una pequeña participación de la estimulación simpatoadrenal de lipólisis, con la caída de insulina plasmática y el aumento de cortisol en plasma, que estimulan un aumento en la liberación de ácidos grasos libres del tejido adiposo ^[38]. Durante periodos prolongados de ayuno hay una variedad de factores de estrés que producen un incremento de lipólisis vía estimulación simpatoadrenal; esta estimulación ocurre a través de los procesos mediados por los β -

adrenoreceptores; en contraste con la estimulación de α -adrenoreceptores en tejido adiposo, que inhiben la lipólisis. Esto puede prevenir la ocurrencia de tasas excesivas de lipólisis durante periodos de hambre.

En resumen, fisiológicamente los efectos predominantes del sistema simpatoadrenal son aumentar la concentración de glucosa a través de efectos directos sobre la glucogenólisis y la gluconeogénesis, e indirectamente a través de la reducción de la liberación de insulina, disminuyendo la sensibilidad de insulina y posiblemente estimulando la liberación de glucagón. Igual, y si no de mayor importancia, es el efecto del sistema simpatoadrenal sobre la regulación de la lipólisis. La inervación simpática en el tejido adiposo y las catecolaminas en el plasma estimulan la lipólisis, un efecto que es aumentado si existe la supresión de catecolaminas, mediadas por la supresión de la liberación de insulina. La inervación parasimpática de las células pancreáticas β pueden estimular la liberación de insulina, y es de importancia en los estados tempranos de ingesta de alimentos.

2.3 – La Grasa Corporal y el Balance Simpato-Vagal

En un estudio reciente ^[39] se correlacionó el porcentaje de la grasa corporal con el LF/HF a través de dos maniobras: uno con respiración pausada y el otro sin control de la respiración. Los resultados del estudio señalaron una relación negativa significativa ($p < 0.05$) entre el porcentaje de grasa corporal y el LF/HF durante la maniobra sin control de respiración, pero no durante la maniobra de respiración controlada. Adicionalmente, se señala que la grasa corporal pudo haber influido en la medición del equilibrio simpático opuesto a la maniobra de respiración controlada.

En consecuencia se concluyó que la actividad simpática producida durante la maniobra de respiración controlada a 0.2 Hz, pudo ocultar la relación entre el porcentaje de grasa corporal y el balance simpato-vagal, y que un alto porcentaje de grasa corporal puede estar asociado a una baja modulación simpática de la frecuencia cardiaca en pacientes jóvenes sanos.

En otro trabajo, Peterson, H. et al ^[40], estudiaron las alteraciones de la actividad del SNA en la obesidad humana, para determinar si este puede mediar o bien causar la obesidad. Entre los resultados, se encontraron relaciones significativas entre el porcentaje de grasa corporal y la

variación en el intervalo RR, la frecuencia cardiaca, las concentraciones de norepinefrina y epinefrina en plasma. Cada una de estas variables reflejan la actividad del sistema nervioso simpático, parasimpático, o ambos. Las depresiones en la actividad simpática y parasimpática fueron significativas pero débilmente asociadas con el incremento del porcentaje de grasa corporal. Estas asociaciones indican que en personas obesas, los cambios autonómicos, aunque no necesariamente causales, involucran diversos sistemas. Un mecanismo homeostático desordenado, puede promover un excesivo almacenamiento de energía por la disminución de la actividad simpática, mientras que la única defensa contra el aumento de peso se relaciona con una disminución de la actividad parasimpática.

Por otro lado J. Sztajzel et al ^[41], estudiaron en sujetos con valores crecientes de índice de masa corporal las alteraciones de la función cardiaca autónoma, para establecer la relación que existe entre diferentes factores, tanto metabólicos como hormonales, con dichas alteraciones. Los resultados demostraron un incremento de la FC y un decremento de la VFC en el grupo de sujetos con valores de IMC elevados, indicando una función autonómica cardiaca anormal. La mayoría de los índices de VFC se relacionaron negativamente con la medida de la masa grasa corporal. Se resalta el hecho que la masa grasa corporal muestra una fuerte relación con todos los parámetros de VFC influenciados por el sistema nervioso simpático y parasimpático.

- CAPÍTULO III -

METODOLOGÍA

3.1 – Diseño Experimental

A continuación se presenta el diseño experimental aplicado a dos poblaciones de estudio, una de hombres y otra de mujeres. La idea fue seleccionar poblaciones con IMC semejante y en la región considerada con poco sobrepeso pero con diferencias importantes en su composición corporal. Esto con el propósito de observar si la técnica instrumental, aquí propuesta, es sensible para identificar diferencias mediante el ACCF.

3.1.1 – Muestra poblacional y condiciones de estudio

Se realizaron estudios de CI, composición corporal y VFC en dos poblaciones. La primera población estudiada estuvo formada por 21 hombres, y la segunda estuvo conformada por 32 mujeres. Los estudios se realizaron durante las primeras horas de la mañana a una temperatura ambiental entre 20 y 23°C a la altura de la Ciudad de México (2300 metros sobre el nivel del mar). Los sujetos se presentaron en ayunas mínimo de 8 horas para la medición del GE en posición clinostática y ortostática, y sin haber realizado actividad física durante las últimas 8 horas previas al estudio. Las mediciones fueron realizadas por un mismo grupo de trabajo para disminuir la variabilidad en la toma de mediciones. Los datos de la población de hombres fueron registrados en el Laboratorio de Mediciones Metabólicas y Hemodialíticas de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, y los datos de la población de mujeres fueron tomados en la Unidad de Composición Corporal y Gasto de Energía de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

Ambos experimentos se dividieron en dos fases metabólicas: (a) Fase I en ayunas y (b) Fase II en posprandial, después de haber recibido una ingesta controlada en contenido energético.

En ambas poblaciones se aplicaron los siguientes criterios de inclusión y de rechazo:

3.1.1.1– Criterios de inclusión

- IMC mayor de 20 y menor de 27 Kg/m²
- Edades menores a 32 y mayores de 20 años
- Sanos, sin desórdenes metabólicos conocidos o padecimiento de alguna enfermedad crónica degenerativa.
- No realizando esfuerzo muscular intenso
- Aceptar ser sujetos de observación mediante carta de consentimiento informada

3.1.1.2 – Criterios de rechazo

- Sujetos en situaciones no controladas por motivos de gripe, fiebre, estrés en la medición del intercambio gaseoso y menstruación.
- Consumo de cualquier tipo de medicamento en las últimas 12 horas previas al estudio, así como café, té o bebidas alcohólicas.
- Presentar una glicemia en ayunas mayor a 115 mg/dl.
- Presentar síntomas de intolerancia al ortostatismo como es mareo o desmayo temporal.
- Presentar ansiedad durante la maniobra clino-ortostática evidente por una alta variabilidad de la frecuencia respiratoria y VFC.
- Presentar síntomas de claustrofobia al utilizar la máscara colectora de gases espirados para realizar el estudio de CI.
- Presentar una frecuencia respiratoria en Fase I mayor de 20 respiraciones/minuto o mayor a 21.5 respiraciones/minuto en Fase II.
- Presentar un Volumen-minuto (VE) menor a 4 L/minuto o presentar un VE en posición ortostática menor al VE en posición clinostática. Este criterio hace notar fugas en la colocación de la máscara de captura de gases espirados o problemas en la mecánica ventilatoria del sujeto en observación.

- Presentar una fracción inspirada de Oxígeno (FIO_2) diferente a $21.0 \pm 0.4\%$ en cualquiera de las Fases, porque esto denota posibles fallas instrumentales en la técnica de CI.
- Coeficiente de variación (CV) del VO_2 y VCO_2 mayor del 10% durante la medición del GER en la Fase I, como un criterio para detectar el grado de estrés en la medición del intercambio gaseoso que evitan estados estacionarios fisiológicos.

3.1.2 – Protocolo experimental en Fase I (Sujetos en ayunas)

- Medición de glucosa con lancetero y glucómetro manual.
- Medición del PCR y talla del sujeto con ropa ligera y descalzo.
- Medición de la composición corporal mediante un equipo comercial basado en la técnica de impedancia bioeléctrica del tipo multifrecuencias.
- Medición del GER en posición clinostática con equipo comercial del tipo cámara de mezcla. El sujeto permaneció acostado boca arriba, en reposo, relativamente tranquilo y despierto. El registro inició después de 5 minutos de reposo con acostumbamiento a mascarilla de dos válvulas, durando 15 minutos para la obtención de 40 muestras del VO_2 y VCO_2 cada 20 segundos.
- Medición del GE en posición ortostática. El sujeto permaneció de pie, con los brazos pegados al cuerpo. El registro de datos inició después de un minuto de acostumbamiento y durando un total de 15 minutos.
- Simultáneamente con la medición del GER y del GE se midió la VFC colocando 4 electrodos uno en cada extremidad.

Este mismo protocolo fue aplicado para la población de hombres con la única diferencia que para la medición del GE en posición ortostática los sujetos levantaron simultáneamente un par de mancuernas manualmente, con un peso de 3Kg cada una.

3.1.3 – Protocolo experimental en Fase II (Sujetos en Posprandial)

- Al término de la Fase I, a cada sujeto se le proporcionó una ingesta comercial (Jumex y sándwich de jamón de pavo) cuyo contenido energético fue de 427 Kcal, dando inicio a la Fase II después de 60 minutos.
- Medición de glucosa posprandial.
- Medición de la VFC y del GE en posición clinostática y ortostática, en forma análoga a la Fase I. En la población de hombres durante la Fase II no se midió la VFC.

3.1.4 – Instrumentación

- Sistema híbrido de calorimetría indirecta MGM-3H rediseñado por el LAMEMyH ^[42].
- Calorímetro comercial marca Utah Medical Products Inc, modelo MGM-2 con técnica de cámara de mezcla.
- Sistema de medición de la VFC, marca Megaoyi Co LTD, modelo ECGLAB-3.0.
- Equipo de Impedancia Bioléctrica marca Biospace Inc, modelo Inbody 720 con báscula incluida.
- Estadímetro y Glucómetro portátil Medisense.

La Tabla 3.1 resume la metodología utilizada en cada experimento.

Tabla 3.1 - Metodología Utilizada en las Poblaciones

		Fase I		
		Hombres		Mujeres
Tamaño de la muestra		21 sujetos		32 sujetos
Protocolo experimental	<i>Condiciones</i>	<i>Instrumentación</i>	<i>Condiciones</i>	<i>Instrumentación</i>
Medición de glucosa	ayuno	Glucómetro portátil medisense	ayuno	Glucómetro portátil medisense
Medición del PCR y Talla	ropa ligera y descalzo	Báscula del Inbody y estadímetro	ropa ligera y descalzo	Báscula del Inbody y estadímetro
Medición de Composición corporal	ayuno, de pie, con ropa ligera y descalzo	Biospace Inc, moodelo Inbody 720	ayuno, de pie, con ropa ligera y descalzo	Biospace Inc, moodelo Inbody 720
Medición del GER y de la VFC en clinostatismo	ayuno, acostado boca arriba, en reposo, relativamente tranquilo y despierto	Calorímetro comercial marca Utah Medical Products Inc, modelo MGM-2 con técnica de cámara de mezcla, y sistema de medición de la VFC, marca Megaoyi Co LTD, modelo ECGLAB-3.0	ayuno, acostado boca arriba, en reposo, relativamente tranquilo y despierto	Sistema híbrido de calorimetría indirecta MGM-3H rediseñado por el LAMEMyH y y sistema de medición de la VFC, marca Megaoyi Co LTD, modelo ECGLAB-3.0
Medición del GE y de la VFC en ortostatismo	de pie alzando dos mancuernas de 3Kg cada una	Calorímetro comercial marca Utah Medical Products Inc, modelo MGM-2 con técnica de cámara de mezcla, y sistema de medición de la VFC, marca Megaoyi Co LTD, modelo ECGLAB-3.0	de pie con los brazos a lo largo del cuerpo	Sistema híbrido de calorimetría indirecta MGM-3H rediseñado por el LAMEMyH y sistema de medición de la VFC, marca Megaoyi Co LTD, modelo ECGLAB-3.0

3.1.5 – Análisis de datos

Para el análisis de los datos se generó un grupo de estudio para cada población estudiada. Dichos grupos estuvieron conformados por los sujetos que cumplieron cabalmente con los criterios de inclusión, exclusión y rechazo.

Una vez se seleccionó los sujetos de estudio para cada población, se procedió a analizar la muestra resultante de la siguiente manera:

1. Se utilizó una prueba de hipótesis para determinar significancia estadística entre las mediciones antropométricas de las poblaciones, después de probar normalidad de los datos y aplicar la Prueba-“F” para determinar si las varianzas son significativamente diferentes.
2. Los valores promedios de composición corporal, GE y VFC obtenidos en clinostatismo fueron comparados con los de ortostatismo por medio de la Prueba-“t” en cada población cuando estuvieron en la Fase I (ayuno).
3. Se calcularon rectas por un medio de regresión lineal de mínimos cuadrados para encontrar la relación entre la MLG y el GE en clinostatismo y ortostatismo, entre la MLG y el LF/HF en posición clinostática y ortostática, y entre el ME y el GE en reposo y posición ortostática, así como también entre el GE y el LF/HF en clinostatismo y ortostatismo, junto con un análisis de correlación (coeficiente de Pearson), en ambas poblaciones durante la Fase I.
4. Se calculó la significancia estadística de los coeficientes de correlación de Pearson usando tablas interactivas una vez es calculado el valor de “t” para cada coeficiente con

$$t = r(n - 2)^{1/2} / (1 - r^2)^{1/2} \quad \text{ec. 3.1}$$

donde n es el número total de la muestra y r es el coeficiente de correlación de Pearson.

5. El cociente respiratorio (RQ), los substratos metabólicos (Carbohidratos (CHO) y grasas), así como el VO_2 y el VCO_2 , también son comparados entre ambas posiciones (clinostatismo y ortostatismo) por medio de una prueba de hipótesis en ambas poblaciones.
6. Todos los datos obtenidos por bioimpedancia, CI y VFC de ambas poblaciones cuando estuvieron en ayuno son comparados entre sí por medio de la Prueba-“t”.
7. Se calculó la Composición Corporal Funcional (CCF) para cada sujeto utilizando

$$CCF (Kg) = \left(\frac{\left(\frac{GE-GER}{GER} \right) \% + ME\%}{100} \right) PCR(Kg) + (0.07 * PCR (Kg)) \quad \text{ec. 3.2}$$

donde

$((GE-GER)/GER)*100$ es el porcentaje de incremento del GE cuando los sujetos pasan de la posición clinostática a la posición ortostática, y ME% es el porcentaje de músculo esquelético.

La fracción de 0.07 del PCR corresponde a la masa orgánica de los cinco órganos principales (cerebro, corazón, pulmón, hígado y riñón).

La ecuación es formulada de esa manera con el fin de calcular la MLG metabólicamente activa la cual está compuesta por el músculo esquelético y la masa orgánica. Al usar el ME% se busca la actividad metabólica principalmente del músculo reflejada en el incremento del GE.

8. Finalmente, se representa por medio de bloques el cambio geométrico en el ACCF de la poblaciones cuando se encuentran en clinostatismo y ortostatismo.
9. Para analizar los datos de la población de mujeres durante las Fases I y II se seleccionó a las mujeres que además de cumplir con los criterios de estudio durante la Fase I también los cumplieran para la Fase II. El mismo análisis de los ítems anteriores se aplicó para comparar las mediciones de GE y VFC entre las dos Fases (ayuno y posprandial).
10. En todos los casos se consideró significancia “a priori” con una $p < 0.1$ por considerarse un experimento a nivel piloto.

- CAPÍTULO IV -

RESULTADOS

4.1 – Análisis comparativo entre poblaciones de hombres y mujeres

En este capítulo se presentan los resultados de dos experimentos realizados en poblaciones diferentes de hombres y mujeres. La premisa utilizada en estos experimentos es que las poblaciones presentaran mediciones antropométricas semejantes al utilizar la misma instrumentación.

4.1.1 – Generación de grupos por criterios de inclusión, exclusión y rechazo

La generación de grupos de estudio fue mediante la selección de los sujetos de estudio de ambas poblaciones. Los criterios aplicados, además de los de inclusión, fueron los de exclusión y rechazo produciendo una muestra de n=8 para cada población. La Tabla 4.1 muestra el proceso de aplicar dichos criterios

Tabla 4.1- Proceso de Aplicar los Criterios de Exclusión y Rechazo para Formar las Poblaciones de Estudio		
	Hombres	Mujeres
n Inicial	21	32
Criterios		
Mayor de 32 años	2	0
Realizando esfuerzo muscular intenso	2	0
IMC < 20 Kg/m ²	0	2
IMC >27 Kg/m ²	3	4
Enfermedad	0	4
Glucosa > 115 mg/dl	0	1
Intolerancia al reto ortostático (mareo)	0	1
FR > 20 respiraciones/min en Clinostatismo	0	6
FR > 21.5 respiraciones/min en Ortostatismo	1	0
VE < 4 ml/min	0	1
VE en orto menor al VE en Clinostatismo	0	1
FIO ₂ < 20.6 y >21.4	0	2
CV > 10% en Clinostatismo	5	2
CV > 15% en Ortostatismo	0	0
Total de sujetos excluidos	13	24
n Final	8	8

4.1.2 – Mediciones antropométricas

Las poblaciones de hombres y mujeres en los dos experimentos realizados que cumplieron con los criterios de inclusión fueron comparadas para establecer diferencias entre ellas cuando se evaluaron durante la Fase I (ayuno). Los datos antropométricos del grupo de hombres y del grupo de mujeres se presentan en la Tabla 4.2 junto con los resultados de la Prueba-“t” a dos colas aplicada para determinar si existieron diferencias significativas entre el grupo de hombres y el grupo de mujeres. Los resultados de las Pruebas-“t” fueron consideradas positivas cuando existió una $p < 0.1$ por tratarse de un estudio piloto con una “n” muy baja en número. Los resultados fueron positivos al comparar las variables, excepto para el IMC, la glucosa y el tiempo de ayuno.

Tabla 4.2 – Mediciones Antropométricas: Hombres vs Mujeres

	Fase I		p
	Hombres n=8	Mujeres n=8	
Edad (años)	25.8 ± 3.20	22.1 ± 1.89	p < 0.1
PCR (Kg)	74.3 ± 5.98	59.9 ± 8.02	p < 0.1
Talla (m)	1.8 ± 0.06	1.6 ± 0.08	p < 0.1
IMC (Kg/m ²)	24.0 ± 2.01	23.1 ± 1.48	0.35
Glucosa (mg/dl)	97 ± 13.64	96.5 ± 5.78	0.93
Tiempo de Ayuno (min)	748.0 ± 135.17	747.6 ± 118.80	1.00

PCR: Peso Corporal Real, IMC: Índice de Masa Corporal

4.1.3 – Análisis del comportamiento funcional de la Masa Libre de Grasa mediante el Gasto Energético y el Índice Simpatovagal

La Tabla 4.3 presenta los valores de MLG, ME, GE, LF/HF y de la FC en posiciones clinostática y ortostática para las muestras estudiadas. Los resultados de aplicar una Prueba-“t” a una cola muestran significancia estadística ($p < 0.1$) entre clinostatismo y ortostatismo de todas las variables analizadas para el grupo de hombres. Para el grupo de mujeres los

resultados muestran sólo diferencias significativas en el LF/HF y en la FC. Para los valores de MLG y ME no se aplica la Prueba-“t” dado que estas variables son insensibles por el sólo cambio de posición.

Tabla 4.3 – Masa Libre de Grasa, Músculo Esquelético, Gasto Energético, Índice Simpato-Vagal y Frecuencia Cardíaca: Clinostatismo vs Ortostatismo

	Fase I					
	Hombres n = 8			Mujeres n = 8		
	Clinostatismo	Ortostatismo	p	Clinostatismo	Ortostatismo	p
MLG (Kg)	57.6 ± 4.87	57.6 ± 4.87	NA	40.0 ± 5.01	40.0 ± 5.01	NA
ME (Kg)	32.5 ± 3.05	32.5 ± 3.05	NA	21.7 ± 2.97	21.7 ± 2.97	NA
GE (Kcal/día)	1531.2 ± 123.29	1798.5 ± 193.00	p < 0.1	1426.8 ± 195.39	1493.5 ± 195.07	0.25
LF/HF	0.8 ± 0.42	2.7 ± 1.28	p < 0.1	0.4 ± 0.15	1.8 ± 1.34	p < 0.1
FC (LPM)	57.9 ± 8.46	78.8 ± 20.80	p < 0.1	61.1 ± 8.06	83.4 ± 12.19	p < 0.1

MLG: Masa Libre de Grasa, ME: Músculo Esquelético, GE: Gasto Energético, LF/HF: Índice Simpato-Vagal, FC: Frecuencia Cardíaca, NA: No Aplica

En las Figuras 4.1 y 4.2 se presentan esquemáticamente las rectas que se calcularon por un modelo de regresión lineal de mínimos cuadrados para el grupo de hombres y mujeres respectivamente, con el fin de encontrar el nivel de correlación lineal entre la MLG, el ME, el GER, el GE y el LF/HF en clinostatismo y ortostatismo. Gráficamente se observa en la parte (a) de las Figura 4.1 y 4.2 la relación entre la MLG y el GE en posición clinostática y ortostática, en la parte (b) la relación entre ME y el GE en clinostatismo y ortostatismo, en la parte (c) de ambas Figuras la relación de la MLG con el LF/HF en clinostatismo y ortostatismo, y finalmente se observa en la parte (d) la relación entre el GER y el LF/HF en clinostatismo y la relación entre el GE y el LF/HF en ortostatismo.

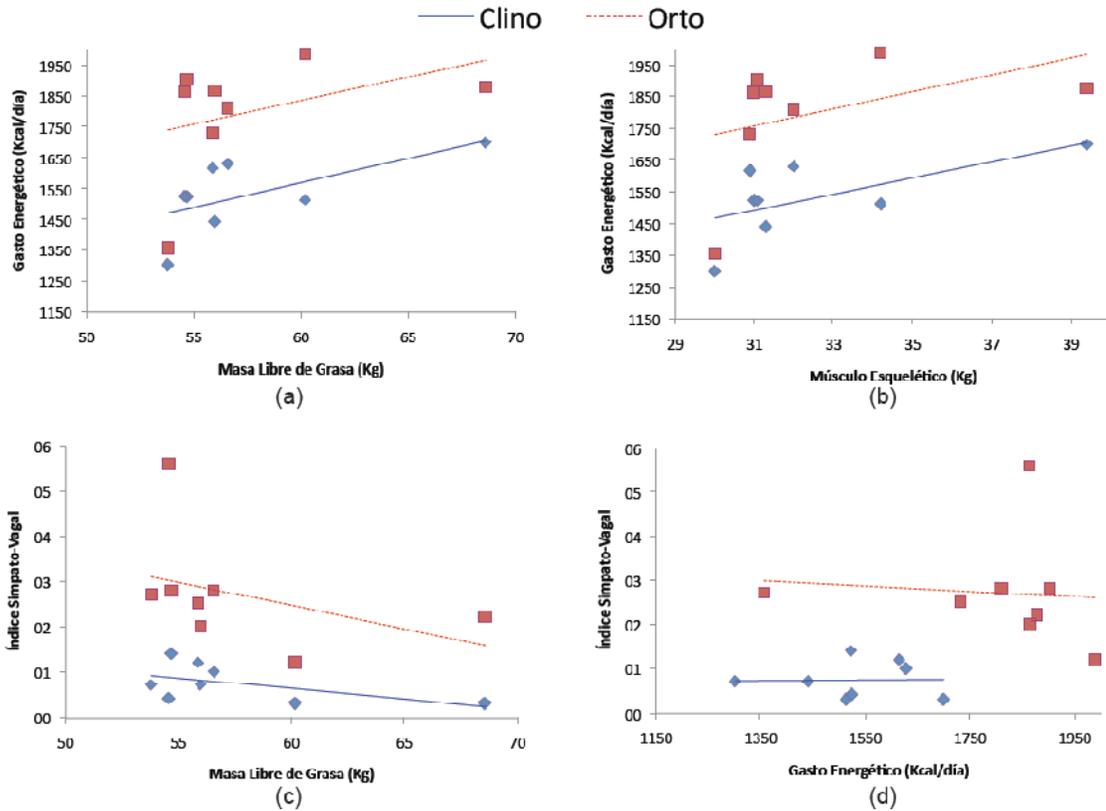


Figura 4.1 – Población de Hombres: Correlación entre la MLG, el ME, el GER, el GE y el LF/HF en Fase I

Los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables MLG, ME, GER, GE y LF/HF en posición clinostática y ortostática se muestra en la Tabla 4.4 para los dos grupos. La significancia estadística del coeficiente de correlación es determinada a dos colas, usando tablas interactivas una vez que es calculado el valor de “t” para cada coeficiente de correlación. Dicho valor de “t” es calculado con la Ecuación 3.1 presentada en el capítulo anterior. Los valores de “p” mostrados en la Tabla 4.4 son calculados para $8-2=6$ grados de libertad para cada uno de los grupos. El riesgo más alto de equivocarse indicado por el valor de “p” calculado, se encuentra al relacionar el GER con el LF/HF en clinostatismo ($p = 0.96$ para el grupo de hombres y $p = 0.90$ para el grupo de mujeres). De igual forma, se observa que los coeficientes de correlación son sólo significativos cuando se relaciona la MLG y el ME con el GER en el grupo de hombres ($p < 0.1$). Para el grupo de mujeres los valores de “p” indican que los coeficientes de correlación no son significativos en ninguno de los casos ($p > 0.1$).

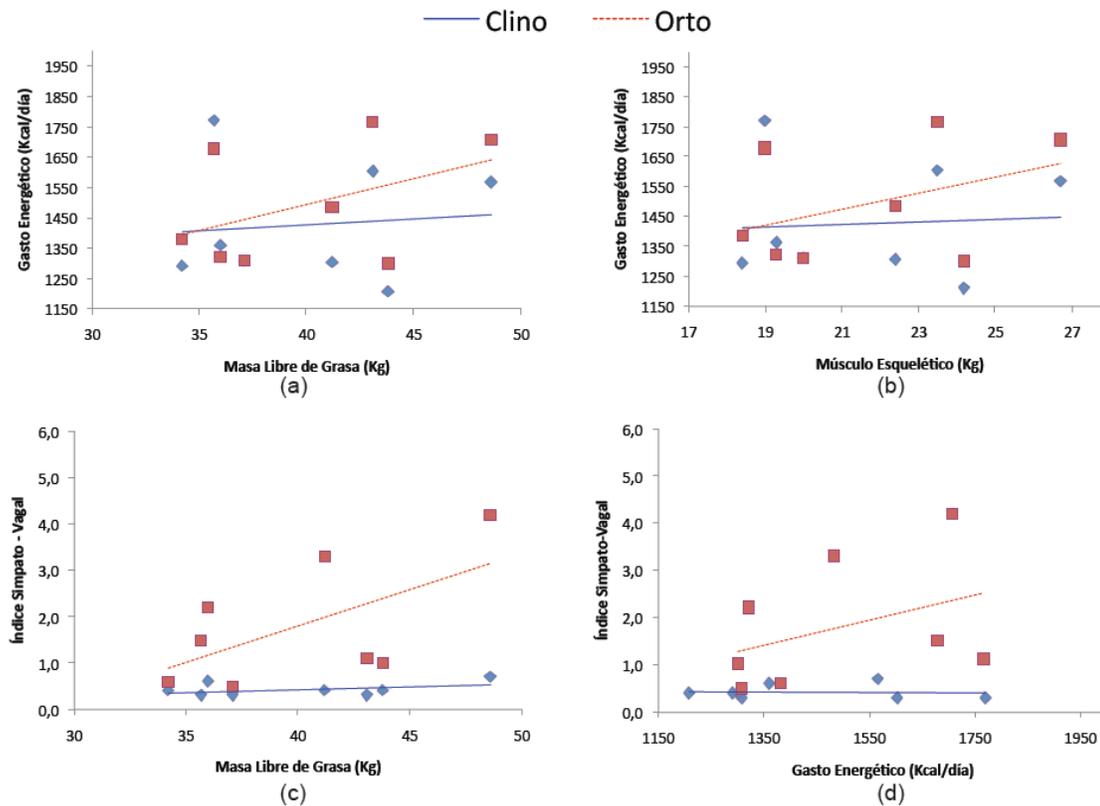


Figura 4.2 – Población de Mujeres: correlación entre la MLG, el ME, el GER, el GE y el LF/HF en Fase I

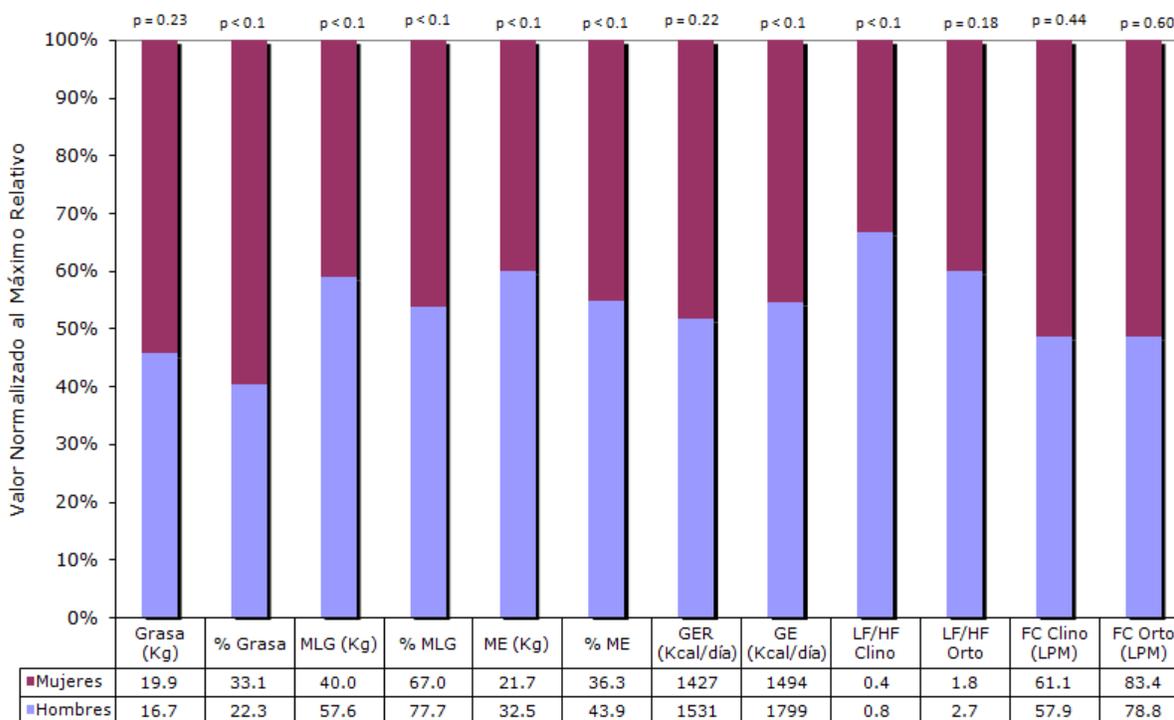
Tabla 4.4 – Coeficientes de Correlación y su Significancia Estadística

	Fase I			
	Hombres n = 8		Mujeres n = 8	
	r	p	r	p
MLG Vs GER	0.625	p < 0.1	0.100	0.82
MLG Vs GE	0.385	0.34	0.439	0.28
ME Vs GER	0.627	p < 0.1	0.064	0.88
ME Vs GE	0.424	0.30	0.409	0.32
MLG Vs LF/HF Clino	-0.541	0.16	0.421	0.30
MLG Vs LF/HF Orto	-0.390	0.32	0.589	0.12
GER Vs LF/HF Clino	0.021	0.96	-0.056	0.90
GE Vs LF/HF Orto	-0.092	0.82	0.388	0.34

MLG: Masa Libre de Grasa, GER: Gasto Energético en Posición Clinostática, GE: Gasto Energético en Posición Ortostática, ME: Músculo Esquelético, LF/HF: Índice Simpato – Vagal, r: Coeficiente de Correlación de Pearson, p = Significancia Estadística

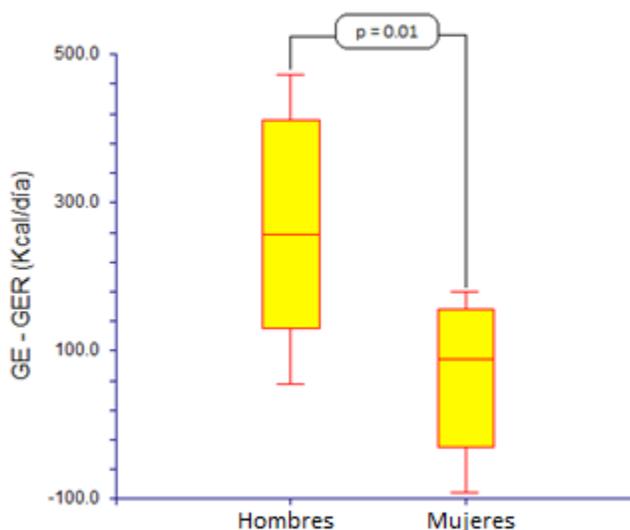
4.1.4 – Composición Corporal, Gasto Energético y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca

En la Gráfica 4.1 se comparan los resultados obtenidos entre poblaciones por bioimpedancia, CI e ISV (LF/HF). En la gráfica 4.1 se observa, mediante la Prueba-“t”, si existen también diferencias significativas entre los hombres y mujeres analizados en cuanto a su composición corporal (MLG y MG), GE y del ISV en clinostatismo y ortostatismo. En la Gráfica 4.1 cada barra representa la relación porcentual que existe entre la normalización de los resultados de cada parámetro estudiado en el grupo de hombres y mujeres. Así, cuando la relación entre dos valores de un mismo parámetro es de un 50%, representa que no hay aproximadamente diferencias asegurado por la magnitud de “p” que aparece hasta la parte superior de cada barra. Similarmente, cuando la relación no es del 50%, significa que existe diferencias entre los valores promedios de dichos parámetros. Las “p” obtenidas señalan claramente que las poblaciones difieren significativamente cuando la $p < 0.1$ en el porcentaje de Grasa, en la MLG, en el ME, en el GE en posición ortostática, y en el índice LF/HF en clinostatismo.



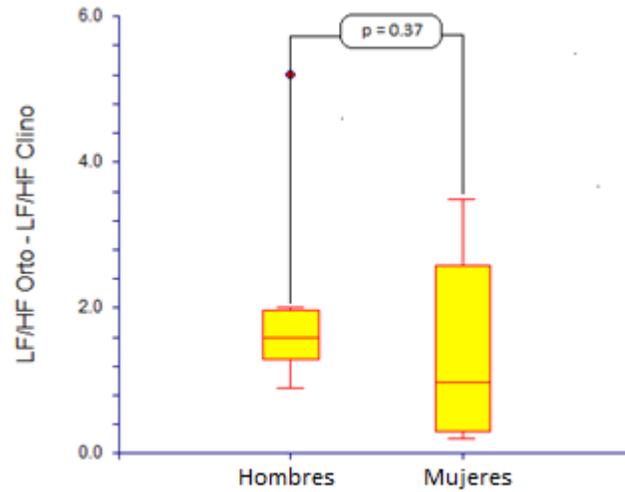
**Gráfica 4.1 – Composición Corporal, Gasto Energético y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca:
Hombres vs Mujeres en Fase I**

La Gráfica 4.2 representa un incremento del GE cuando se aplica la maniobra clino-ortostática. El grupo de hombres presenta un incremento del 18% que es mayor al de la población de mujeres, donde el GE sólo incrementó un 5%. La prueba Prueba-“t” a dos colas ($p = 0.01$) ratifica la diferencia entre las poblaciones de hombres y las mujeres.



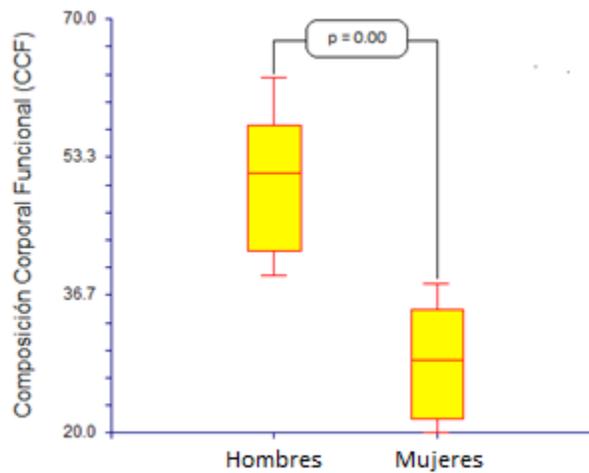
Gráfica 4.2 – Gasto energético incremental entre el grupo de Hombres y el grupo de Mujeres por la maniobra clino-orto en Fase I

El incremento del índice LF/HF cuando los sujetos pasan de la posición clinostática a la posición ortostática también se comparó entre las poblaciones de hombres y mujeres como se muestra en la Gráfica 4.3. La “p” obtenida señala que no hay diferencia significativa en el incremento de esta variable. Sin embargo, el análisis intra-población señala que el grupo de hombres incrementó su índice LF/HF promedio en un 387% y las mujeres un 303%, donde esta última población mostró un incremento notable en la varianza de los datos. Los porcentajes calculados se estimaron restando el índice LF/HF en ortostatismo menos el índice LF/HF en clinostatismo. Esta diferencia se dividió entre el índice LF/HF en clinostatismo y se multiplicó por 100 para obtener porcentajes.



Gráfica 4.3 – Índice Simpato-Vagal incremental entre poblaciones por la maniobra clino-orto en Fase I

Finalmente, la CCF calculado mediante la Ecuación 3.2, mostrada en el capítulo anterior, resultó en un promedio de **50.6 ± 8.47 Kg** para el grupo de hombres, y para el grupo de mujeres fue de sólo **29 ± 7.07 Kg**. La Gráfica 4.4 muestra esta clara diferencia con una $p < 0.1$.



Gráfica 4.4 – Composición Corporal Funcional Calculada durante la Fase I: Hombres vs Mujeres

4.1.5 – Análisis del comportamiento del Cociente Respiratorio, el Consumo de Oxígeno, la Producción de Bióxido de Carbono y de los Substratos Metabólicos

Como una extensión al ACCF, también se analizó las diferencias significativas entre poblaciones al aplicar el clinostatismo y ortostatismo en cuanto a los substratos metabólicos, el consumo de oxígeno (VO_2) y la producción del bióxido de carbono (VCO_2). La Tabla 4.5 muestra los valores obtenidos con la “p” de significancia. La población de hombres señala diferencias significativas del VO_2 y VCO_2 entre clinostatismo y ortostatismo. Los resultados correspondientes al grupo de mujeres indican que no existen diferencias significativas de las variables analizadas cuando las sujeto de experimentación cambiaron de posición ($p > 0.1$).

Tabla 4.5 – Cociente Respiratorio, Consumo de Oxígeno, Producción de Bióxido de Carbono y Substratos Metabólicos: Clinostatismo vs Ortostatismo

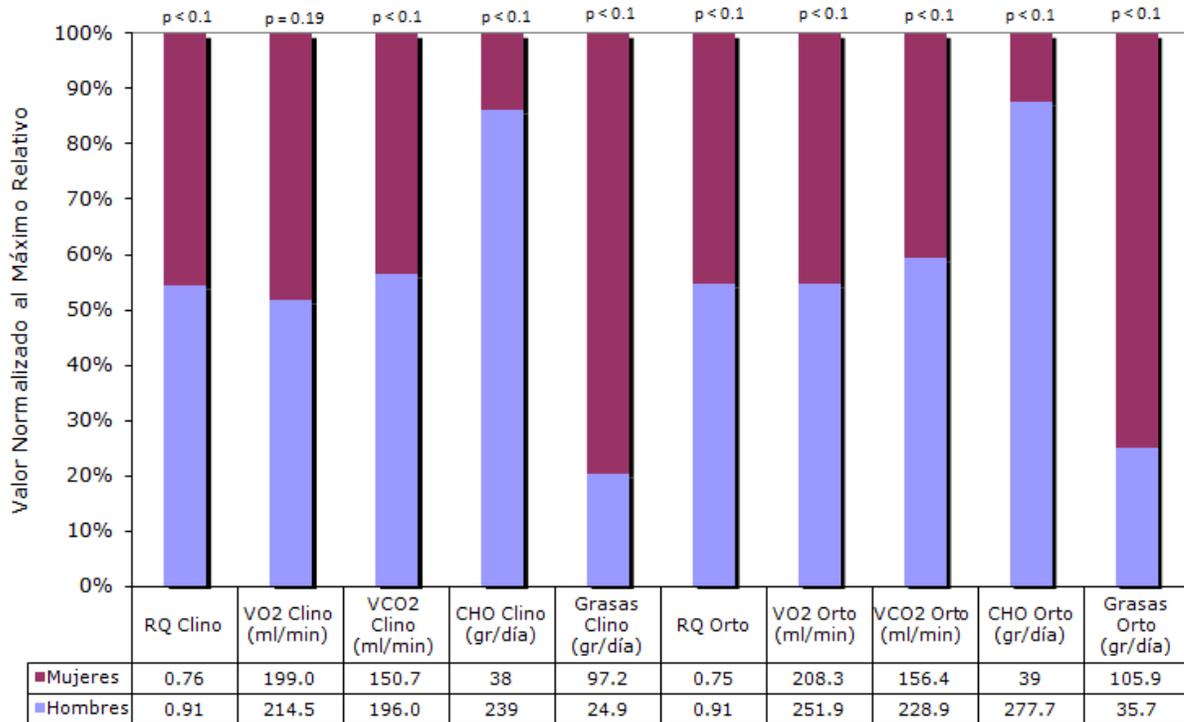
	Fase I					
	Hombres n=8			Mujeres n=8		
	Clinostatismo	Ortostatismo	p	Clinostatismo	Ortostatismo	p
RQ	0.91 ± 0.09	0.91 ± 0.08	0.48	0.76 ± 0.02	0.75 ± 0.03	0.32
VO_2 (ml/min)	214.5 ± 17.02	251.9 ± 26.76	$p < 0.1$	199.0 ± 27.22	208.3 ± 27.21	0.25
VCO_2 (ml/min)	196.0 ± 17.76	228.9 ± 20.84	$p < 0.1$	150.7 ± 18.96	156.4 ± 21.36	0.29
CHO (gr/día)	239.0 ± 101.83	277.7 ± 92.54	0.22	38.0 ± 22.65	39.2 ± 20.46	0.46
Grasas (gr/día)	24.9 ± 46.9	35.7 ± 47.09	0.33	97.2 ± 23.74	105.9 ± 20.51	0.22

RQ: Cociente Respiratorio, VO_2 : Consumo de Oxígeno, VCO_2 : Producción de Bióxido de Carbono, CHO: Carbohidratos

4.1.6 – Cambios en el Cociente Respiratorio, en el Consumo de Oxígeno, en la Producción de Bióxido de Carbono y en los Substratos Metabólicos

En la Gráfica 4.5 se representa la relación porcentual que existe entre la normalización de los valores promedios de las grasas, los CHO, el RQ, el VO_2 y el VCO_2 en posición clinostática y ortostática del grupo de hombres y mujeres, así como también los resultados de aplicar una Prueba-“t” a dos colas para establecer diferencias. Podemos observar que las poblaciones difieren en el consumo de los substratos metabólicos significativamente ($p < 0.1$), así como en el RQ y el VCO_2 en clinostatismo y ortostatismo. Análogamente, se observa en la Gráfica 4.5 que el valor promedio de VO_2 de ambos grupos no son significativamente

diferentes cuando los sujetos se encuentran en posición clinostática, contrariamente a lo que ocurre cuando se encuentran en posición ortostática donde si son diferentes con una $p < 0.1$.



Gráfica 4.5 – RQ, VO₂, VCO₂ y Substratos Metabólicos: Hombres vs Mujeres

4.1.7 – Análisis cualitativo del comportamiento de la Composición Corporal Funcional en un espacio multivariado (MLG, VFC y GE)

El nuevo concepto del ACCF se estudia en base al paradigma estímulo-respuesta que los sujetos de observación generan durante el reto ortostático. En la Figura 4.3 se observa los valores promedios de MLG, GE y LF/HF que manejaron las poblaciones en posición clinostática y ortostática durante la Fase I. Aquí se observa que la población de mujeres genera un espacio diferente de clasificación, sumergido en el espacio promedio de la población de hombres. Los bloques “A” y “B” representan la magnitud equivalente del cambio geométrico en el ACCF, donde el bloque “A” es más delgado porque el GE en clinostatismo es semejante entre poblaciones y es relativamente más alto porque el cambio en el índice LF/HF es el doble

entre poblaciones mientras que el cambio en ortostatismo es aproximadamente un poco mayor a un tercio.

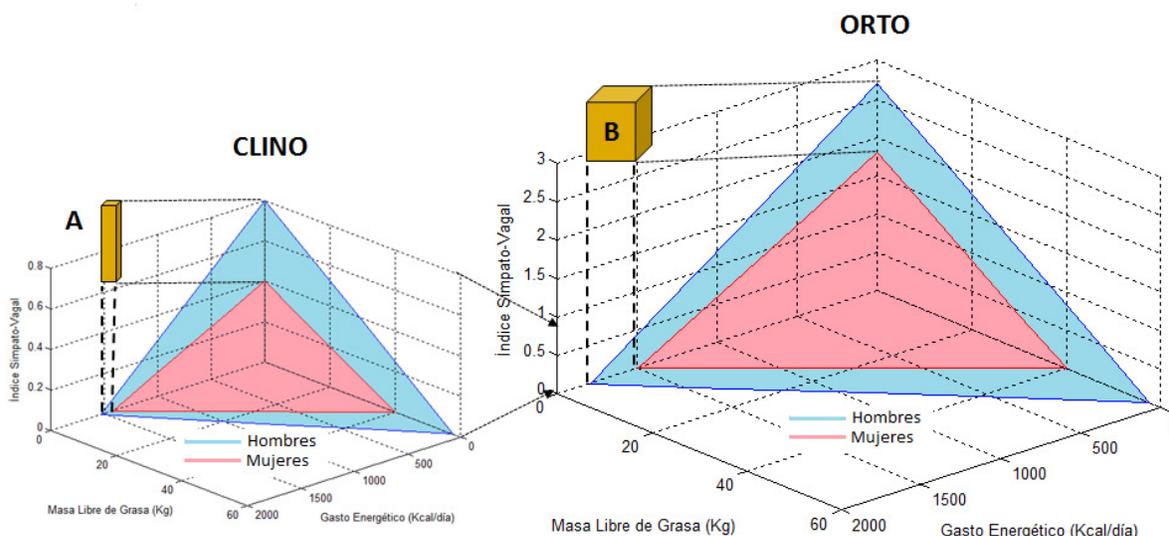


Figura 4.3 – Los bloques “A” y “B” representan los cambios en la magnitud geométrica del ACCF durante la maniobra. Obsérvese que el bloque “A” es más delgado que el bloque “B” principalmente por la diferencia del gasto energético entre poblaciones durante la maniobra clino-orto.

4.2 – Análisis comparativo entre Fases en la población de mujeres

Al aplicar los mismos criterios de exclusión y rechazo para la población de mujeres en la Fase II el número de sujetos excluidos es igual a 3, quedando por lo tanto una muestra de sujetos de $n=5$ que corresponde solo a las mujeres que cumplieron con los criterios de inclusión tanto para la Fase I como para la Fase II.

Los datos obtenidos durante las dos Fases (ayuno y posprandial) del grupo de mujeres son comparados y analizados para encontrar diferencias por el ciclo posprandial. La Tabla 4.6 presenta las mediciones antropométricas y de glucosa tanto para la Fase I (ayuno) como para la Fase II (posprandial). El resultado de aplicar una Prueba-“t” a una cola señala diferencias en el valor promedio de glucosa entre Fases ($p < 0.1$).

Tabla 4.6 – Mediciones Antropométrica: Fase I vs Fase II

	Fase I		p
	Fase I n=5	Fase II n=5	
Edad (años)	22.8 ± 2.17	22.8 ± 2.17	NA
PCR (Kg)	63.8 ± 6.29	63.8 ± 6.29	NA
Talla (m)	1.6 ± 0.06	1.6 ± 0.06	NA
IMC (Kg/m ²)	23.7 ± 0.83	23.7 ± 0.83	NA
Glucosa (mg/dl)	95.8 ± 6.98	112.2 ± 14.20	p < 0.1

PCR: Peso Corporal Real, IMC: Índice de Masa Corporal

4.2.1 – Análisis del comportamiento funcional de la Masa Libre de Grasa y el Músculo Esquelético mediante el Gasto Energético y el Índice Simpato-Vagal

La Tabla 4.7 presenta los resultados de aplicar una Prueba-“t” a una cola para encontrar si existen diferencias significativas del GE, del LF/HF y de la FC entre la posición clinostática y la posición ortostática. Los resultados de la prueba aplicada señalan diferencias significativas en la FC y en el LF/HF en las dos Fases.

Tabla 4.7 – Masa Libre de Grasa, Músculo Esquelético, Gasto Energético, Índice Simpato-Vagal y Frecuencia Cardíaca: Clinostatismo vs Ortostatismo

	Fase I n = 5			Fase II n = 5		
	Clinostatismo	Ortostatismo	p	Clinostatismo	Ortostatismo	p
MLG (Kg)	42.8 ± 4.18	42.8 ± 4.18	NA	42.8 ± 4.18	42.8 ± 4.18	NA
ME (Kg)	23.4 ± 2.45	23.4 ± 2.45	NA	23.4 ± 2.45	23.4 ± 2.45	NA
GE (Kcal/día)	1398.0 ± 175.27	1513.0 ± 217.17	0.19	1614.0 ± 149.31	1632.0 ± 187.21	0.44
FC (LPM)	57.6 ± 7.33	82.0 ± 12.39	p < 0.1	65.4 ± 7.67	87.4 ± 16.74	p < 0.1
LF/HF	0.4 ± 0.16	2.0 ± 1.63	p < 0.1	0.4 ± 0.34	1.3 ± 1.20	p < 0.1

MLG: Masa Libre de Grasa, ME: Músculo Esquelético, GE: Gasto Energético, LF/HF: Índice Simpato-Vagal, FC: Frecuencia Cardíaca, NA: No Aplica

La Figura 4.4 presenta esquemáticamente las rectas que se calcularon por un modelo de regresión lineal de mínimos cuadrados para encontrar la relación entre la MLG, el ME, el GER, el GE y el LF/HF en posición clinostática y ortostática durante las Fases I y II. En la

parte (a) de la Figura se observa la relación entre la MLG y el GE en clinostatismo y ortostatismo durante las dos Fases, la cual tiene un comportamiento similar a la relación entre el ME con el GE como se muestra en la parte (b) de dicha Figura. Las partes (c) y (d) de la Figura 4.3 presentan la relación entre el LF/HF con la MLG y el GE en clinostatismo y ortostatismo respectivamente.

La Tabla 4.8 muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre los parámetros analizados (MLG, ME, GE y el LF/HF) junto con su significancia estadística. Los valores de p mostrados en la Tabla 4.7 son calculados para 5-2 grados de libertad, a dos colas, y señalan que el único coeficiente de correlación significativo es el de la MLG con el LF/HF en posición clinostática durante la Fase I.

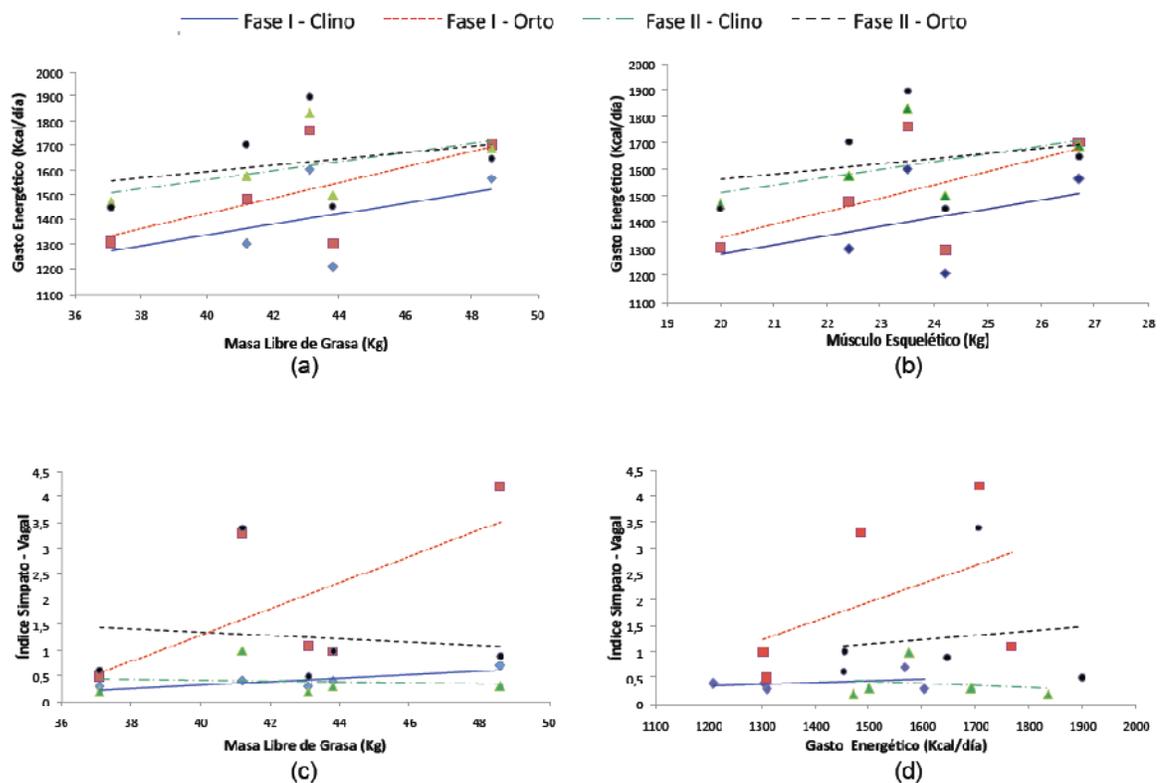


Figura 4.4 – Relación entre la MLG, el ME, el GER, el GE y el LF/HF en Fase I y II

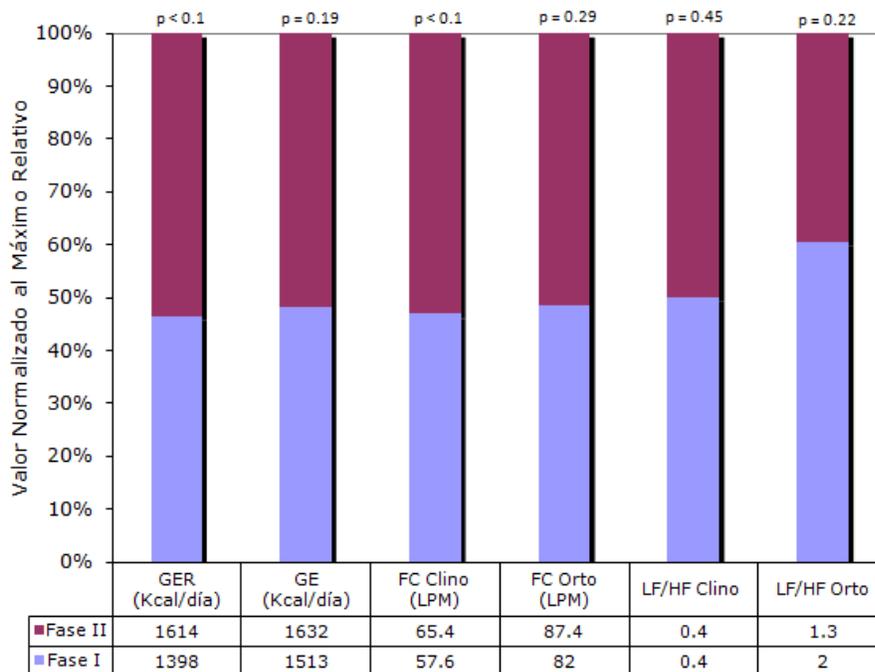
Tabla 4.8 – Coeficientes de Correlación y su Significancia Estadística

	Fase I n = 5		Fase II n = 5	
	r	p	r	p
MLG Vs GER	0.515	0.38	0.510	0.38
MLG Vs GE	0.604	0.28	0.285	0.64
ME Vs GER	0.478	0.42	0.483	0.42
ME Vs GE	0.570	0.32	0.255	0.68
MLG Vs LF/HF Clino	0.832	p < 0.1	-0.099	0.88
MLG Vs LF/HF Orto	0.661	0.22	-0.111	0.86
GER Vs LF/HF Clino	0.639	0.24	0.044	0.94
GE Vs LF/HF Orto	0.267	0.66	0.063	0.92

MLG: Masa Libre de Grasa, GER: Gasto Energético en Posición Clinostática, GE: Gasto Energético en Posición Ortostática, ME: Músculo Esquelético, LF/HF: Índice Simpato – Vagal, r: Coeficiente de Correlación de Pearson, p = Significancia Estadística

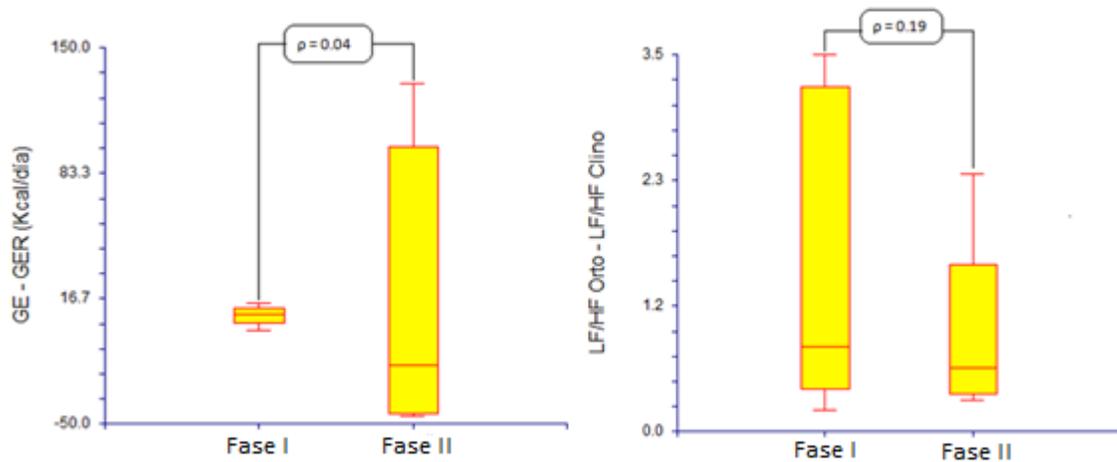
4.2.2 – Gasto Energético y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca: Fase I Vs Fase II

En la Gráfica 4.6 se comparan los valores obtenidos por CI y VFC durante la Fase I y la Fase II para el grupo de mujeres. Al aplicar una Prueba-“t” a una cola se encuentra que sólo existen diferencias significativas (p < 0.1) en el GER y en la FC cuando los sujetos están en posición clinostática.



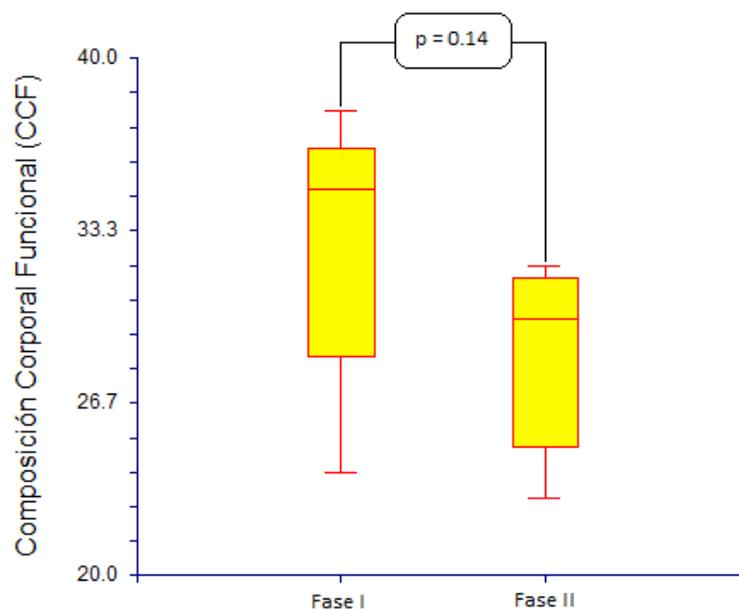
Gráfica 4.6 – Gasto Energético y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca: Fase I Vs Fase II

La Gráfica 4.7 representa el incremento del GE y del LF/HF cuando se aplica la maniobra clino-ortostática durante las Fases I y II. Durante la Fase I la población presenta un incremento del GE de un 8% y del LF/HF de un 342%; durante la Fase II, este incremento se reduce a un 1% en el GE y a un 205% en el LF/HF, con diferencias significativas sólo en el incremento del GE con una $p = 0.04$.



Gráfica 4.7 – Incremento del Gasto Energético y de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca: Fase I Vs Fase II

Para las Fases I y II también es calculada la CCF. En la Fase I de acuerdo a la ec. 3.2 mostrada en el Capítulo III se obtiene que las mujeres tienen una CCF de 33.1 ± 5.37 Kg, y para la Fase II la CCF calculada disminuye a 28.4 ± 3.38 Kg. El resultado de aplicar una Prueba-“t” a dos colas para encontrar diferencias entre la CCF calculada para las dos Fases se representa en la Gráfica 4.8. Una $p = 0.14$ señala que no existen diferencias.



Gráfica 4.8 – Composición Corporal Funcional Calculada: Fase I vs Fase II

4.2.3 – Análisis del comportamiento del Cociente Respiratorio, el Consumo de Oxígeno, la Producción de Bióxido de Carbono y de los Substratos Metabólicos

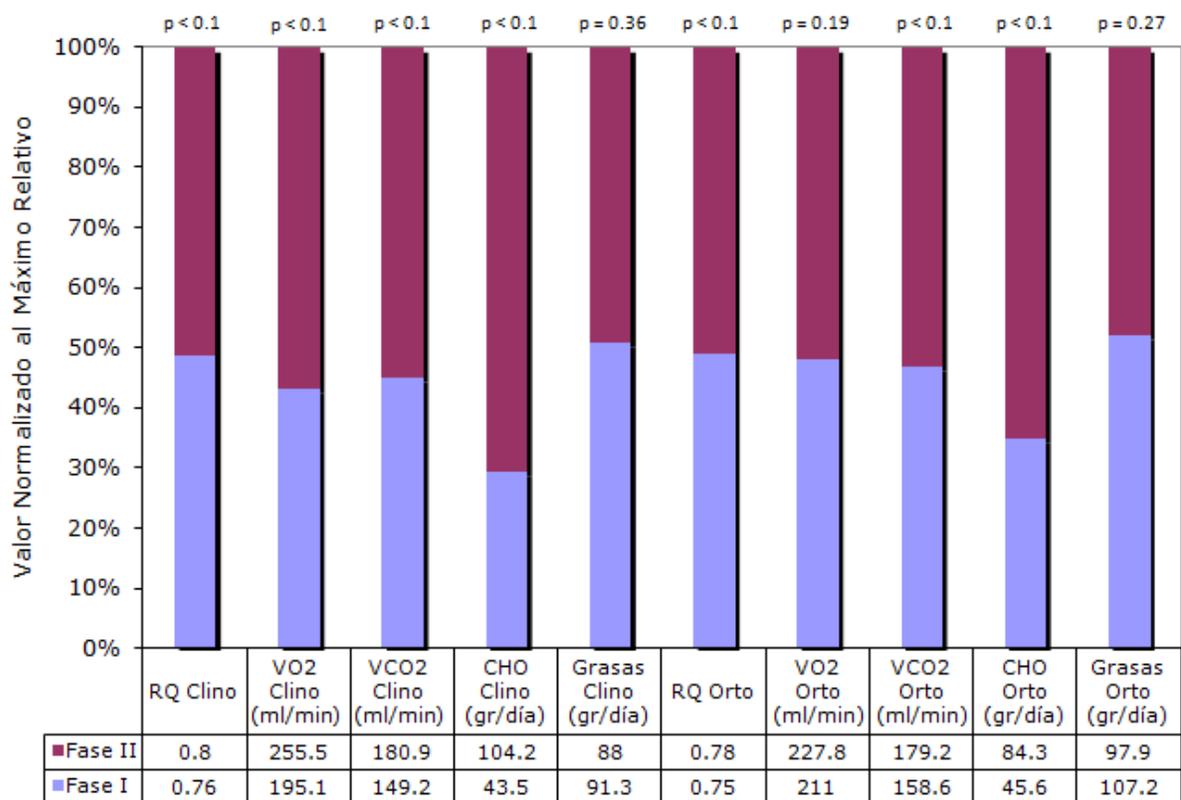
Los resultados de aplicar una Prueba-“t” a una cola para encontrar diferencias significativas entre clinostatismo y ortostatismo de los substratos metabólicos, del VO_2 y el VCO_2 se presentan en la Tabla 4.9. Los valores obtenidos de p mostrados en la Tabla 4.9 sólo señalan diferencias significativas ($p < 0.1$) en el consumo de CHO cuando los sujetos pasan de la posición clinostática a la posición ortostática.

Tabla 4.9 – Cociente Respiratorio, Consumo de Oxígeno, Producción de Bióxido de Carbono y Substratos Metabólicos: Clinostatismo vs Ortostatismo						
	Fase I n = 5			Fase II n = 5		
	Clinostatismo	Ortostatismo	p	Clinostatismo	Ortostatismo	p
RQ	0.76 ± 0.01	0.75 ± 0.04	0.28	0.80 ± 0.01	0.78 ± 0.02	0.14
VO_2 (ml/min)	195.1 ± 24.50	211.0 ± 30.32	0.19	225.5 ± 20.80	227.8 ± 26.01	0.44
VCO_2 (ml/min)	149.2 ± 18.65	158.6 ± 25.08	0.26	180.9 ± 16.13	179.2 ± 16.46	0.44
CHO (gr/día)	43.5 ± 14.16	45.6 ± 20.25	0.43	104.2 ± 16.91	84.3 ± 22.56	$p < 0.1$
Grasas (gr/día)	91.3 ± 15.26	107.2 ± 21.28	0.11	88.0 ± 13.41	97.9 ± 25.15	0.23

RQ: Cociente Respiratorio, VO_2 : Consumo de Oxígeno, VCO_2 : Producción de Bióxido de Carbono, CHO: Carbohidratos

4.2.4 – Cambios en el Cociente Respiratorio, en el Consumo de Oxígeno, en la Producción de Bióxido de Carbono y en los Substratos Metabólicos: Fase I Vs Fase II

En la Gráfica 4.9 se presentan los valores promedios de las grasas, los CHO, el RQ, el VO₂ y el VCO₂ en clinostatismo y ortostatismo durante las Fases I y II; así como también los resultados de aplicar una Prueba-“t” a una cola para establecer diferencias significativas. En la Gráfica se puede observar que los valores promedios de la Fase I no difieren con los de la Fase II en el consumo de Grasas en posición clinostática y ortostática, así como tampoco difieren en el VO₂ en ortostatismo; en todos los demás parámetros se obtiene una $p < 0.1$.



Gráfica 4.9 – RQ, VO₂, VCO₂ y Substratos Metabólicos: Fase I Vs Fase II

4.2.5 – Análisis cualitativo del comportamiento de la Composición Corporal Funcional en un espacio multivariado (MLG, VFC y GE)

En la Figura 4.5 se observa el ACCF que el grupo de mujeres generan durante el reto ortostático y cuando se encuentran en las distintas Fases (ayuno y posprandial). Los bloques que representan la magnitud equivalente del cambio geométrico en el ACCF son totalmente diferentes entre las posiciones. El bloque “A” que representa dicha magnitud en posición clinostática es más ancho porque el GER durante la Fase II es mayor que el de la Fase I, pero totalmente plano porque el LF/HF es igual durante las dos Fases. En posición ortostática el bloque “B” es más delgado porque el GE es semejante durante las dos Fases, y es más alto porque durante la Fase I el LF/HF es mayor al de la Fase II.

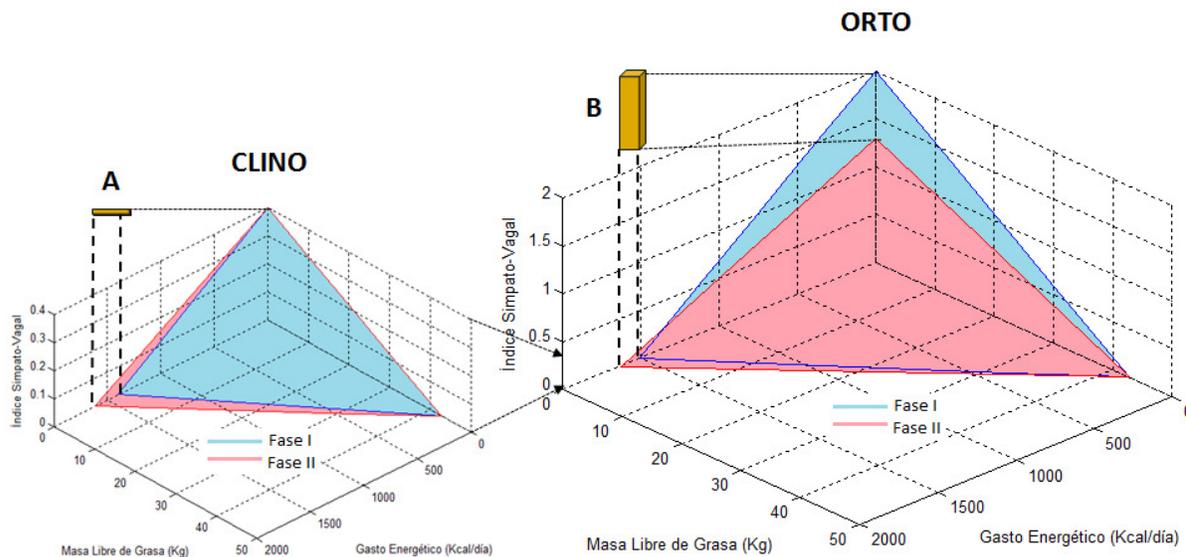


Figura 4.5 – Los bloques “A” y “B” representan los cambios en la magnitud geométrica del ACCF durante la maniobra y las dos Fases.

DISCUSIÓN

En base los resultados es posible afirmar que esta nueva técnica instrumental del ACCF es altamente sensible al catabolismo de la MLG por medio de los cambios que ésta produce sobre el GE y el ISV durante la maniobra clino-ortostática. Así, una interpretación global de la utilidad del ACCF se puede derivar en forma sencilla de la Figura 4.3, donde se muestra que un espacio 3D, generado por el GER, el ISV y la MLG, es mayor durante el ortostatismo en Fase I. Cuando por ejemplo se cuantifica un incremento aproximado en el GE de 250 Kcal/día ($p < 0.1$), solo en la población de hombres, y un incremento no significativo también en el GE en la población de mujeres. A la vez que se observan simultáneamente cambios clino-ortostáticos significativos en los ISV ($p < 0.1$) en ambas poblaciones.

Lo anterior asociado a la idea de que a un incremento catabólico de la MLG puede producir un incremento en el índice (LF/HF) hace que el ACCF pueda explicar la diferencia en el consumo del tipo de substrato metabólico en ayunas y después en fase posprandial. Por ejemplo, el mayor índice LF/HF que se observó en la población de hombres, probablemente por una mayor actividad simpática del SNA, puede explicar el mayor consumo de carbohidratos que se tuvo al medir un $RQ = 0.91$. Contrariamente, en la población de mujeres se observó que no se produjo un incremento significativo clino-ortostático en el GE, pudiendo derivarse de una pobre actividad catabólica de la MLG. Esto a su vez puede asociarse a un bajo índice LF/HF, debido probablemente por la hiperactividad del parasimpático del SNA, que genera un $RQ = 0.76$ que significa un catabolismo meramente de grasas (ver Tabla 4.5). Esto último, también es consistente con el mayor consumo del substrato de grasas en mujeres que estadísticamente es diferente entre poblaciones ($p < 0.1$).

Desafortunadamente estas interpretaciones aun no pueden ser concluyentes por el número reducido de sujetos estudiados ($n = 8$ en ambas poblaciones) que pasaron finalmente lo estricto de criterios de inclusión, exclusión y rechazo de muestras poblacionales de 21 hombres y 32 mujeres. Sin embargo, aun así, se considera que los resultados permiten afirmar que el nuevo concepto del ACCF devela cambios dinámicos significativos producidos por el catabolismo de la MLG entre hombres y mujeres que son consistentes para soportar la hipótesis de trabajo en esta tesis. También, se puede considerar que una ventaja importante del ACCF se encuentra

cuando se estudian poblaciones con un IMC semejante entre ellas por debajo, en este caso, de los criterios de obesidad.

En forma específica, los resultados muestran que al estudiar ambas poblaciones por CI se observa que no hay diferencias significativas entre el GER en posición clinostática, a diferencia de lo que sucede cuando se encuentran en posición ortostática (ver Gráfica 4.1). Los hombres incrementaron su GE significativamente ($p < 0.1$) en un 18% al pasar de la posición clinostática a la posición ortostática, probablemente por el trabajo muscular de levantar las mancuernas de 3 Kg en cada mano. Contrariamente, la población de mujeres incrementó solo un 5% su GE sin ser claramente significativo ($p = 0.25$) (ver Tabla 4.3), probablemente también por lo reducido de la “n”. Aquí es importante señalar que los resultados obtenidos para la población de mujeres contrastan con los reportados en otros trabajos donde es evidente el incremento significativo del GE de las poblaciones estudiadas cuando pasan de clinostatismo a ortostatismo sin someterse a ningún esfuerzo muscular ^[43].

En cuanto a la FC y al índice LF/HF, como medidas indirectas del control autonómico, presentaron cambios significativos en estas variables cuando pasaron de la posición clinostática a la posición ortostática (También ver Tabla 4.3). Ambas poblaciones mostraron predominio de la actividad parasimpática en posición clinostática y cambiaron a una mayor proporción de la actividad simpática cuando pasaron a la posición ortostática, siendo ésta más evidente en la población de hombres dado que se exagera el estímulo al cargar las mancuernas de 3kg en posición ortostática. Análogamente, al comparar los valores de LF/HF en clinostatismo y ortostatismo de las poblaciones, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.1$) sólo en el índice LF/HF en posición clinostática entre ellas. Los hombres estudiados en posición clinostática tuvieron un valor promedio del índice LF/HF = 0.8, que es mayor al de las mujeres de 0.4, lo cual muestra consistencia con lo reportado en la literatura y soportando una vez más la premisa que los hombres presentan mayor actividad simpática que las mujeres ^[44].

Al correlacionar la MLG con el GER en posición clinostática se observaron comportamientos diferentes entre las poblaciones (Ver Figuras 4.1 (a) y 4.2 (a)). Así, en la población de hombres se encontró una relación significativa ($p < 0.1$) contrario a lo encontrado en la población de mujeres. La no correlación encontrada de la MLG y el GER en el grupo de

mujeres hace suponer que para ciertas poblaciones esta relación no siempre se cumple, lo cual contrasta con lo expuesto en el trabajo de Heymsfield ^[9].

Por otra parte, cuando se relacionó la MLG con el índice LF/HF (Ver Figuras 4.1 (c) y 4.2 (c)) llamó la atención que los coeficientes de correlación entre la MLG y el LF/HF en clinostatismo y ortostatismo tienen un coeficiente de correlación negativo ($r = -0.541$) para la población de hombres, aunque su significancia aun fue marginalmente significativa ($p = 0.16$). Contrariamente en el grupo de mujeres esta correlación fue positiva ($r = 0.42$) con una $p = 0.3$ que se interpreta sin significancia, aunque se considero que la carencia de la misma se puede deber a la $n = 8$. Sin embargo, aunque estos coeficientes no son totalmente significativos, este comportamiento distinto entre las poblaciones puede atribuirse a la forma en que se utilizaron los substratos metabólicos. Es decir, la relación entre la MLG y el índice LF/HF puede estar reflejando el consumo de CHO y grasas. La población de hombres se inclinó claramente en ambas posiciones (clinostática y ortostática) hacia un catabolismo de CHO y la población de mujeres hacia un catabolismo de grasas, que se observa por las diferencias entre los RQ. Una interpretación adicional fue relacionada a las causas por la cantidad y variedad de alimentos distintamente consumidos por las poblaciones. Por ejemplo, la población de mujeres fueron seleccionadas de las estudiantes de la carrera de Nutrición con una clara tendencia a cuidar la forma de alimentarse. Contrariamente, la población de hombres fue seleccionada de los estudiantes de la carrera de Ing. Biomédica, donde es muy probable que suceda todo lo contrario por el cuestionario que llenaron en cuanto a sus hábitos alimenticios. La Tabla 4.2 resume las diferencias antropométricas entre poblaciones.

En los resultados se observa que el CCF presenta una mayor cantidad de ME en la población de hombres y que el diferencial promedio fue de 18Kg respecto a la población de mujeres. Por lo tanto el CCF fue de 7Kg mayor para los hombres (Ver Tabla 4.3 y Gráfica 4.4), permitiendo inferir que el CCF calculado para el grupo de hombres probablemente refleja de una manera sencilla la dinámica catabólica del músculo y de los cinco órganos principales (corazón, riñón, pulmón, hígado y cerebro). Esto ante la probable demanda energética de coordinar la homeostasis ante el cambio a una posición ortostática y cargar simultáneamente las mancuernas de 3 Kg. En cambio, el CCF calculado para el grupo de mujeres sólo probablemente refleje el incremento catabólico de los órganos por el reto de posición ortostática sin que intervenga claramente el catabolismo muscular.

Por otro lado, al aplicar la misma técnica instrumental desarrollada para detectar que tan activa es la MLG en las Fases I y II (ayuno y posprandial) de la población de mujeres, se encontraron pocas diferencias. Primeramente, al estudiar los cambios en el GE y en la VFC debidos a la maniobra clino-ortostática, se encontró que en ninguna de las dos Fases la población mostró cambios significativos del GE al pasar de la posición clinostática a la posición ortostática, pero si en su FC y LF/HF (Ver Tabla 4.7). Sin embargo, se observa que el incremento del GE en Fase I es significativamente mayor que en Fase II (8.1% en ayuno y 1% en Fase II), lo cual hace pensar que la MLG disminuye su actividad catabólica en la Fase II. Ahora, cuando se relaciona linealmente el GE en clinostatismo y ortostatismo con la MLG se vuelve a encontrar que no existe dicha relación en ninguna de las dos Fases (Ver Figura 4.4 (a)). Asimismo, al relacionar la MLG con el LF/HF llama la atención que en Fase I la correlación tendió a ser positiva siendo significativa en posición clinostática ($p < 0.1$) y en Fase II tendió a ser negativa sin ser significativa en ninguna de las dos posiciones (Ver Tabla 4.12). Este comportamiento de las mujeres en Fase II es similar al de los hombres cuando se encuentran en estado de ayuno. Lo que hace pensar que este comportamiento se deba a que los hombres en estado de ayuno y la mujeres en Fase II especialmente en posición clinostática se inclinan hacia un catabolismo de carbohidratos. Es claro que una mayor casuística ciertamente ayudaría a entender la relación de la MLG con el LF/HF en ayuno y en posprandial.

La técnica instrumental del ACCF aplicada de igual forma a la población de mujeres permitió ver cambios dinámicos entre la Fase I y la Fase II, en su GER, GE y FC principalmente en clinostatismo. Llamó la atención que no se encontraron diferencias en el índice LF/HF en clinostatismo y ortostatismo cuando la población de mujeres se encontraba en ayuno y luego en posprandial. Esto reafirma la idea que al haber más disponibilidad de carbohidratos durante la Fase II, demuestra que los requerimientos catabólicos de la MLG de las mujeres fueron reducidos. Las diferencias en el RQ y en el consumo de substratos fueron evidentes entre las dos Fases (Ver Gráfica 4.9). Específicamente, en la posición clinostática, durante la Fase I la población se manejó en promedio un RQ de 0.75 con un consumo de grasas, y durante la Fase II se manejó un RQ de 0.8 con un claro consumo hacia los carbohidratos. Lo anterior justifica las condiciones de ayuno y en fase posprandial son inmediatamente reflejadas por el ACCF. Sin embargo, en posición ortostática aunque la población en Fase II aumentó su consumo de CHO, el consumo de grasas en promedio fue

mas alto, lo cual hace pensar que la población gastó muy rápido la energía proveniente del consumo de CHO al estar de pie y se fue inmediatamente a una lipólisis. En los resultados (Ver Gráfica 4.8), también se observa que el ACCF calculado es mayor en la Fase I que en la Fase II, permitiendo nuevamente inferir que particularmente la MLG metabólicamente activa disminuye su actividad metabólica en la Fase II. El porqué de esta última situación fisiológica aun no es clara pero sin duda el nuevo concepto de la ACCF puede ayudar a clarificarla.

CONCLUSIONES

- La hipótesis de trabajo se cumplió parcialmente. Puesto que:
 - (1) Se logró identificar diferencias significativas con el ACCF entre una población de hombres y una de mujeres. Específicamente se encontraron diferencias estadísticas significativas en el GE en posición ortostática y en la utilización de los substratos metabólicos, además de las diferencias encontradas en la MLG y en LF/HF en posición clinostática. Además, al hacer un ACCF en las poblaciones estudiadas se logró observar a través de las gráficas 3D de los valores promedios de la MLG, GE y LF/HF que la población de mujeres genera un espacio de clasificación sumergido en el espacio promedio de la población de hombres, lo cual motiva a realizar estudios en poblaciones con distintas patologías debidas a un exceso de grasa corporal como son la diabetes, obesidad, hipertensión, entre otras, con el fin de obtener diversos espacios de clasificación.
 - (2) La correlación encontrada entre la MLG y el LF/HF es directamente proporcional en la población de mujeres siendo marginalmente significativa cuando los sujetos se encuentran en posición ortostática, y en la población de hombres es inversamente proporcional siendo marginalmente significativa en posición clinostática. La correlación encontrada entre la MLG y el GE fue directamente proporcionales en ambas poblaciones, pero sólo es significativa en la población de hombres cuando éstos se encuentran en posición clinostática.
- Al utilizar la maniobra clino-orto y junto con la medición de: (a) la MLG y MG por bioimpedancia, (b) el GER (en clinostatismo) y el GE (en ortostatismo) por calorimetría indirecta y (c) el índice simpato-vagal (LF/HF) en la VFC en sujetos de experimentación voluntarios se puede obtener un ACCF.
- El protocolo experimental diseñado y aplicado en las poblaciones iniciales de hombres (21) y de mujeres (32) permitió realizar un estudio pareado con una “n= 8” en condiciones de alto control de variables independientes y dependientes. Por lo tanto, se presume que mayores poblaciones de análisis cambiarán a positivas (p. ejemplo $p < 0.05$) las significancias marginales hasta ahora encontradas.

Finalmente se concluye que estos resultados no son concluyentes por el número reducido de sujetos estudiados. Sin embargo, por lo estricto de criterios de inclusión, exclusión y rechazo se considera que los resultados si permiten afirmar que el ACCF como técnica instrumental deleva diferencias significativas en el catabolismo de la MLG entre poblaciones, aun cuando el IMC entre ellas es semejante.

PERSPECTIVAS DE TRABAJO

En base a la posible utilidad de los resultados obtenidos al implementar instrumentalmente el nuevo concepto del ACCF durante este estudio piloto, se puede afirmar que existe suficiente motivación para continuar con estudios en poblaciones muestrales de sujetos sanos para confirmar que si existe un plano de correlación lineal en un espacio 3D, generado entre la MLG el ISV y GE. Una mayor casuística acabaría por comprobar las diferencias catabólicas de la MLG entre hombres y mujeres para después realizar estudios con el ACCF en poblaciones con distintas patologías, principalmente del tipo metabólico. La idea de generar espacios de clasificación por métodos estadísticos sería el reto natural a seguir.

Finalmente, se afirma que existe una gran oportunidad de construir un equipo que realice simultáneamente y en paralelo las mediciones de composición corporal por bioimpedancia, gasto energético por calorimetría y la VFC. Esto para implementar la técnica del ACCF con un bajo costo que sin lugar a dudas generaría un instrumento innovador con una clara ventaja competitiva para tamizar y explorar nuevas técnicas para controlar el síndrome metabólico, la obesidad y la diabetes mellitus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GRUPO CONVERGE. "Diagnóstico y tratamiento del riesgo cardiometabólico". Medicina Clínica. Barcelona, España, 2007; 129 (15):588-96.
- [2] Rubio MA, et al. "Guías para el tratamiento de las dislipemias en el adulto: Adult Treatment Panel III (ATP-III)". Unidad de Nutrición Clínica y Dietética. Servicio de Endocrinología y Nutrición. Hospital Clínico Universitario San Carlos. Madrid. España. Endocrinol Nutr 2004;51(5):254-65
- [3] Organización Mundial para la Salud. "Obesidad", [en línea], (citado 05-08-2010). World Health Organization, WHO. Disponible en: <http://www.who.int/topics/obesity/es/>.
- [4] Montero A. "Diagnóstico y Clínica como evaluar el riesgo asociado al exceso de peso. Composición corporal, sus cambios y asociaciones", [en línea], (citado 05-08-2010). Federación Argentina de Cardiología. Noviembre 2009. Disponible en: <http://www.fac.org.ar/6cvc/llave/c025/monteroa.php>.
- [5] M. Siervo. S. Jebb. "Body Composition Assesment: Theory into Practice". IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine. January/February 2010; Vol. 29, no 1, pp. 48 – 57.
- [6] M. J. Muller, A. Bosity-Westphal, W. Later, V. Haas, M. Heller, "Functional body composition: Insights into the regulation of energy metabolism and some clinical applications". Eur. J. Clin. Nutr, Sept. 2009; Vol. 63, no. 9, pp. 1045-1056.
- [7] Ramos N. "Tejido adiposo intra-abdominal: crecimiento, evaluación y su asociación con el desarrollo de problemas metabólicos en niños y adolescentes". Bol Med Hospital Infantil México. Noviembre/Diciembre 2009; Vol. 66, pp. 492 – 501.
- [8] Lerman-Garber I, Aguliar-Salinas CA, Gómez-Pérez FJ, et al. "El síndrome metabólico. Posición de la Sociedad Mexicana de Nutrición y Endocrinología, sobre la definición, fisiopatología y diagnóstico. Características del síndrome metabólico en México". Rev Endocrinol Nutr, 2004; 12:109-122.
- [9] Heymsfield S. "Body Composition Modeling: Application to Exploration of the Resting Energy Expenditure Fat-Free Mass Relationship" Ann N.Y. Acad Sci, 2000; 904: 290-297.
- [10] McCalve S, Snider H. "Dissecting the Energy Needs of the Body". Nutr. Metab Care, 2001; 4:143-147.
- [11] Mataix Verdú, J. "Nutrición y alimentación humana. Situaciones fisiológicas y patológicas". Editorial Océano, Primera edición, 2006; ISBN 84-95199-69-6.
- [12] Marsicano, R., Rivero, P., Fernandez, F. "Obesidad y enfermedades asociadas - Programa Institucional con un enfoque preventivo". Dirección Nacional de Sanidad de las Fuerzas Armadas - Salud Militar. Uruguay 1999; Volumen 21, N°1.
- [13] Cañete Estrada, R. Cifuentes Sabio, V. "Valoración del estado nutricional". Sociedad Española de Endocrinología Pediátrica. Málaga, España 2000; 1:1-28.
- [14] Wang ZM, Pierson RN, Heymsfield SB. "The five level model: A new approach to organizing composition research". Am J Clin Nutr 1992; 56:19-28.
- [15] Rodriguez Martinez G, Sarría Chueca A, Fleta Zaragoza J. et al. "An Esp Pediatr" 1998; 48:111-115.
- [16] Dalmau Llorca, R. "Riesgo cardiovascular y composición corporal medida con impedancia bioeléctrica". Tesis Doctoral. Universitat Rovira I Virgili. España, 2007; ISBN: 978-84-690-7587-6.
- [17] Rico H, Revilla M, Villa LF, et al. "The four-compartment models in body composition: Data from a study with dual-energy X-ray absorptiometry and near-infrared interactance on 815 normal subjects". Metabolism 1994; 43: 417-422.
- [18] Pineda, C., Bernal, A., Espinosa, E., et al. "Principios físico básicos del ultrasonido". Instituto Nacional de Rehabilitación. México, Distrito Federal. Rev. chil. reumatol. 2009; 25(2):60-66.
- [19] Borkan GA, Hulth DE, Cardarelli J, et al. "Comparison of ultrasound and skinfold measurements in the assessment of subcutaneous and total fatness". Am J Phys Anthropol 1982; 58: 307-313.
- [20] Hanlon, T. "Guía práctica de la composición corporal". Mc. Graw-Hill Interamericana, México 2007; ISBN 970-10-6037-7.

- [21] Lukaski HC. "Assesment of body composition using tetrapolar bioelectrical impedance analysis". En: Whitehead RG, Prentice A, editors. *New techniques in nutritional research*. San Diego: Academic press, 1991; 303-315.
- [22] Derwent Healthcare. "InBody 720 - Biospace Body Composition Analysis". [en línea], (citado el 15-11-2010). Disponible en: <http://www.derwenthealthcare.com/inbody>
- [23] De Weir JB. "New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism". *J Physiol (London)*, 1949; 109:1-9.
- [24] Mc Clave. "Use of indirect calorimetry in clinical nutrition". Invited Review. *NCP*, 1992; 7(5): 256-267.
- [25] Ferranini, E. "The theoretical bases of indirect calorimetry: a review". *Metabolism*, 1988; 37(3): 287-301.
- [26] Detsky. "What is subject global assessment of nutritional status". *J. Parenteral and enteral Nutrition*, 1987; 11(1): 8-13.
- [27] Mindy L. "Resting metabolic rate: measurement reliability". *J. Parenteral and enteral Nutrition*, 1986; 11(4): 354-359.
- [28] M. Cadena, E. Sacristán, O. Infante, et al. "Modelo para la medición y análisis del VO₂ y VCO₂ en calorimetría indirecta usando series de tiempo discretas respiración a respiración". *XXVIII Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*. 2005; 101-104.
- [29] F.L. Abel, E.P. McCutcheon "Neural Control" En: F.L. Abel, E.P. McCutcheon, editors, *Cardiovascular Function: Principles and Application*. Little, Brown and Company (USA), 1979.
- [30] Gallo, A. Farbiarz, J. Álvarez, D. "Análisis espectral de la variabilidad de la frecuencia cardiaca". *Iaetrea*, Junio 1999; Vol. 12. Num. 2.
- [31] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, "Heart Rate Variability - Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use", Special Report. *Circulation* 1996; 93: 1.043-1.065.
- [32] Malik M, Camm AJ. "Components of heart rate variability - What they really mean and what we really measure". *Am J Cardiol* 1993; 72: 821-822.
- [33] Müller, M. Bosity-Westphal, A. Kutzer, D. "Metabolically active components of fat-free mass and resting energy expenditure in humans: recent lessons from imaging technologies". *Obesity reviews*, 2002; 3, 113-122.
- [34] Elia M. "Organ and tissue contribution to metabolic rate" In Kinney JM, Tucker HN, eds. *Energy Metabolism. Tissue Determinants and Cellular Corollaries*. Raven Press: New York, 1992; pp 61-77..
- [35] Ravussin E, Bogardus C. "Relationship of genetics, age, physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization". *Am J Clin Nutr* 1992; 49:968-975.
- [36] Weinsier R, Schutz Y, Bracco D. "Reexamination of the relationship of resting metabolic rate of fat-free mass and to the metabolically active components of fat-free mass in humans". *Am J Clin Nutr* 1992; 55:790-794.
- [37] Macdonald I. "The influence of the autonomic nervous system on metabolic function". In, *Autonomic Failure. A textbook of clinical disorders of the autonomic nervous system*. Fourth edition, 2002; ISBN: 9780192628503.
- [38] Samra, J.S., Clark, M.L., Humphreys, S.M., et al. "Effects of morning rise in cortisol concentration on regulation of lipolysis in subcutaneous adipose tissue". *Am. J. Physiol.* 1996; 271, E996-E1002.
- [39] Richard M. Millis, Rachel E. Austin, Mark D. Hatcher, et al. "Association of body fat percentage and heart rate variability measures of sympathovagal balance". *Life Sciences*. 2010; 86,153-157.
- [40] Hugh R. Peterson, M.D., Marylee, R. et al. "Body fat and the activity of the autonomic nervous system". *N Engl J Med* 1988; 318:1077-1083.
- [41] Sztajzel, J., Golay, A., Makoundou, V. et al. "Impact of body fat mass extent on cardiac autonomic alterations in women". *European Journal of Clinical Investigation* 2009; 39 (8): 649-656.
- [42] F. J. Rodriguez, tesis: "Instrumento de calorimetría indirecta para el análisis de la variabilidad del VO₂ y VCO₂ en humanos". Universidad Autónoma Metropolitana UAM-I, 2008.
- [43] Cadena, M.; Infante, O.; Sacristan, E. et al, "Metabolic Variability Analysis Using a Mixing Chamber-Breath by Breath based Indirect Calorimeter and the Clino-Ortho Maneuver," *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE , vol., no., pp.4652-4655, 22-26.

[44]Orellana, J.N. “Aplicación al entrenamiento de la variabilidad de la frecuencia cardiaca”. XXX Curso de Fisiología del Ejercicio. Avances en fisiología clínica y rendimiento deportivo. Universidad Complutense de Madrid, 2008.

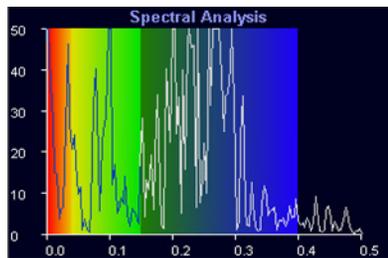
ANEXOS

SUJETO 4

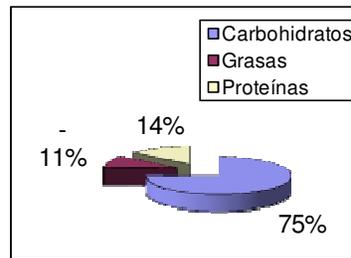
Edad: 23 años Peso: 75.3 Kg
 IMC: 23.5 Kg/m² Estatura: 179 cm
 Observaciones: Sin problemas.

FASE I

Clino



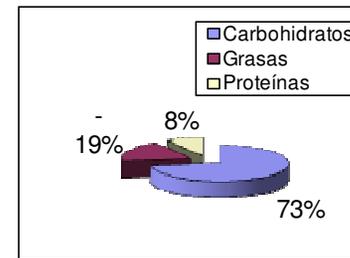
FC: 61 lat/min, LF/HF: 0.3



GE: 1514 ± 136.1 Kcal/día

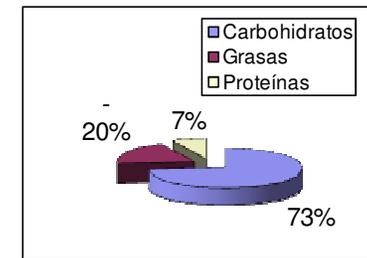
FASE II

Clino



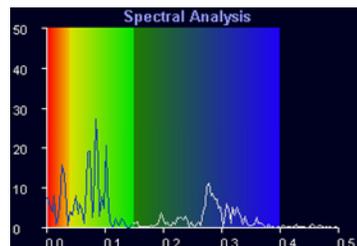
GE: 1906 ± 115.3 Kcal/día

Orto

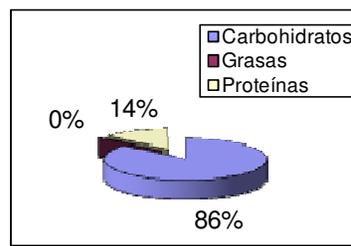


GE: 2274 ± 247.4 Kcal/día

Orto

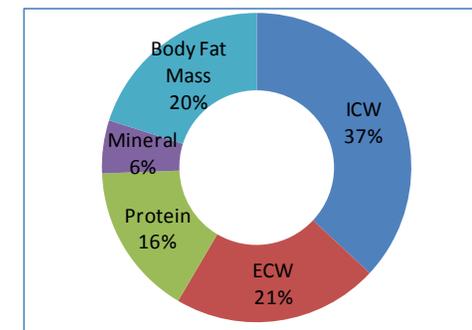


FC: 91 lat/min, LF/HF: 1.2



GE: 1988 ± 160.6 Kcal/día

ACC

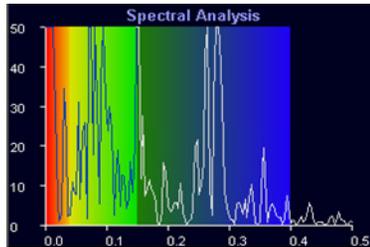


SUJETO 7

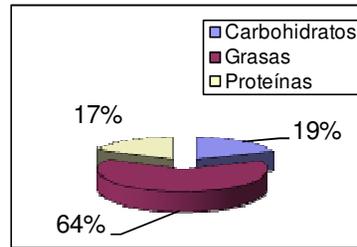
Edad: 26 años Peso: 74.6 Kg
 IMC: 23 Kg/m² Estatura: 180 cm
 Observaciones: Sin problemas.

FASE I

Clino



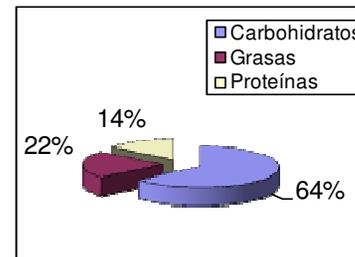
FC: 59 lat/min, LF/HF: 1.0



GE: 1629 ± 79.4 Kcal/día

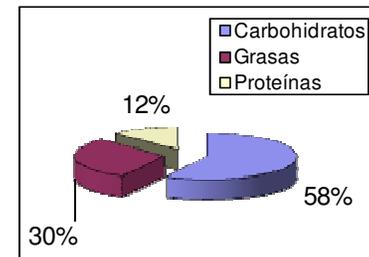
FASE II

Clino



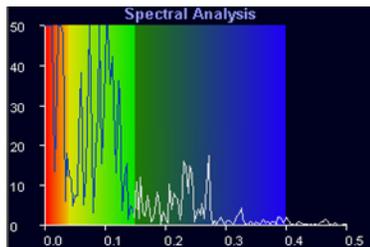
GE: 1933 ± 228.7 Kcal/día

Orto

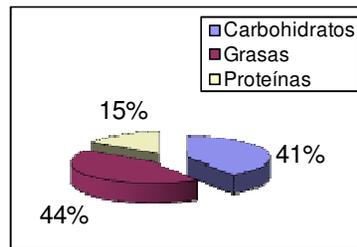


GE: 2206 ± 225.8 Kcal/día

Orto

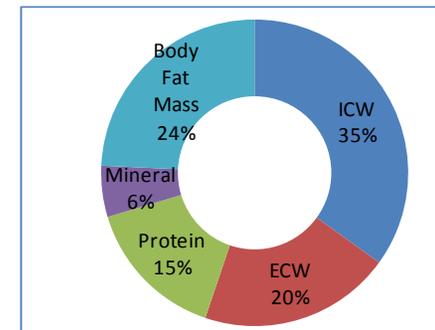


FC: 72 lat/min, LF/HF: 2.8



GE: 1809 ± 227.6 Kcal/día

ACC

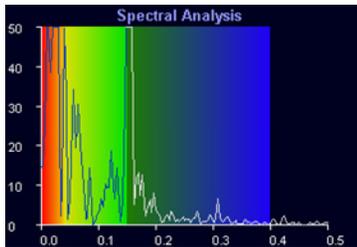


SUJETO 9

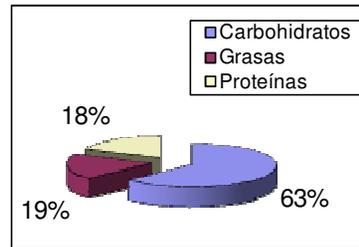
Edad: 23 años Peso: 74.5 Kg
 IMC: 25.8 Kg/m² Estatura: 170 cm
 Observaciones: Sin problemas.

FASE I

Clino



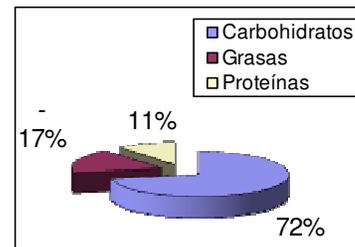
FC: 70 lat/min, LF/HF: 1.4



GE: 1523 ± 125.2 Kcal/día

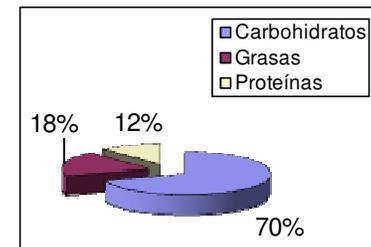
FASE II

Clino



GE: 1620 ± 256.7 Kcal/día

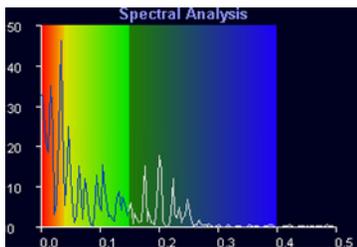
Orto



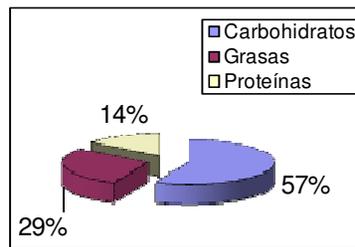
GE: 2317 ± 279.3 Kcal/día

ACC

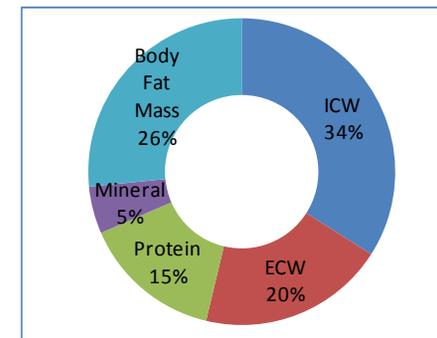
Orto



FC: 93 lat/min, LF/HF: 2.8



GE: 1902 ± 140.2 Kcal/día

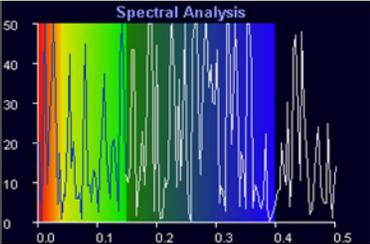


SUJETO 15

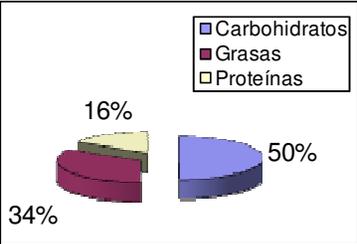
Edad: 23 años Peso: 81.6 Kg
 IMC: 23.3 Kg/m² Estatura: 187 cm
 Observaciones: Sin problemas.

FASE I

Clino



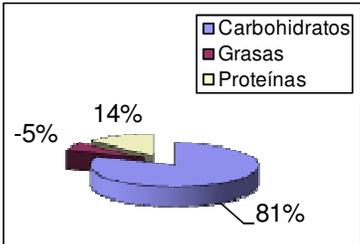
FC: 47 lat/min, LF/HF: 0.3



GE: 1700 ± 108.4 Kcal/día

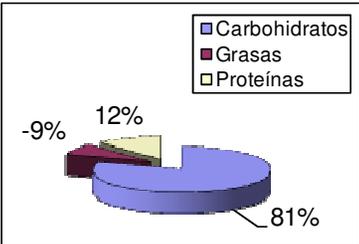
FASE II

Clino



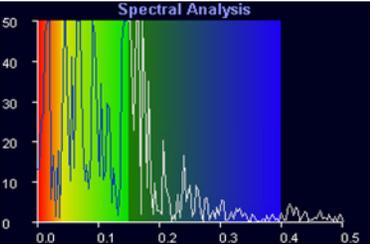
GE: 1751 ± 604.0 Kcal/día

Orto

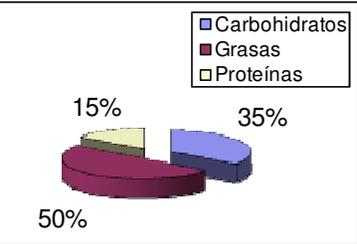


GE: 1892 ± 556.9 Kcal/día

Orto

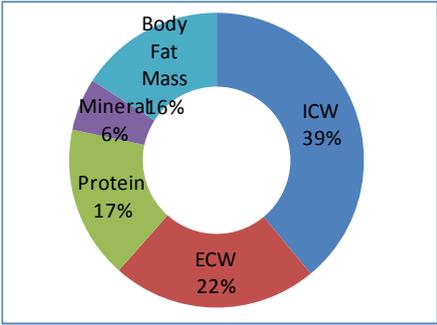


FC: 69 lat/min, LF/HF: 2.2



GE: 1291 ± 49.7 Kcal/día

ACC

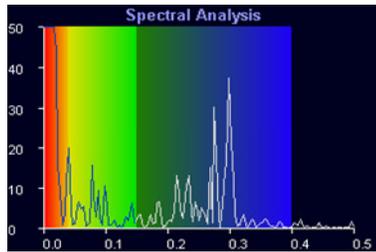


SUJETO 19

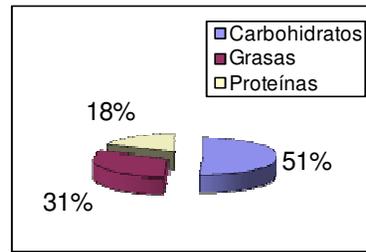
Edad: 26 años Peso: 63 Kg
 IMC: 20.8 Kg/m² Estatura: 174 cm
 Observaciones: Sin problemas.

FASE I

Clino



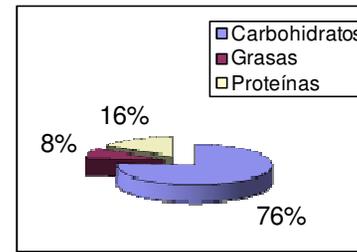
FC: 68 lat/min, LF/HF: 0.4



GE: 1525 ± 121.8 Kcal/día

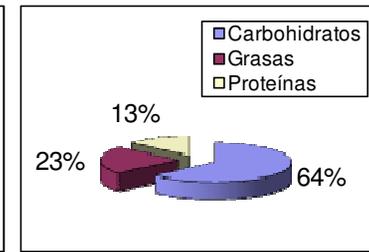
FASE II

Clino



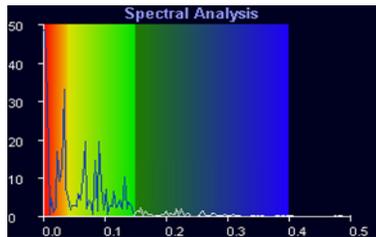
GE: 1689 ± 173.2 Kcal/día

Orto

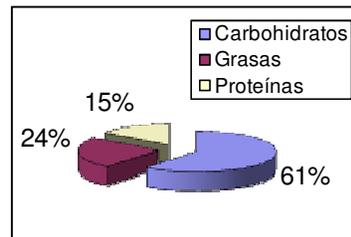


GE: 2036 ± 225.0 Kcal/día

Orto

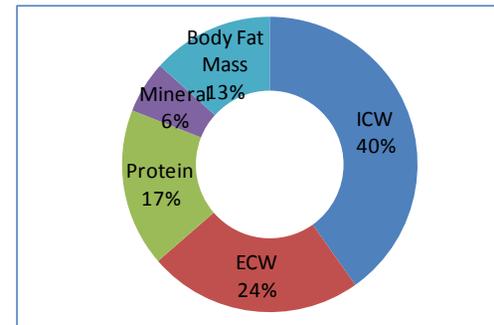


FC: 119 lat/min, LF/HF: 5.6



GE: 1862 ± 196.1 Kcal/día

ACC

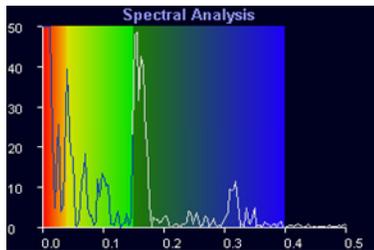


SUJETO 21

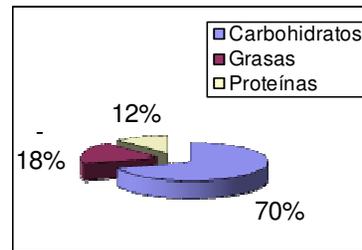
Edad: 30 años Peso: 74.8 Kg
 IMC: 25.6 Kg/m² Estatura: 171 cm
 Observaciones: Sin problemas.

FASE I

Clino



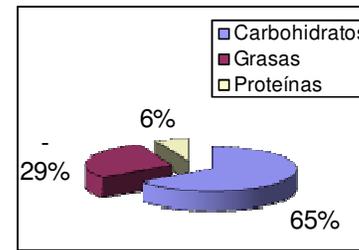
FC: 57 lat/min, LF/HF: 0.7



GE: 1441 ± 77.3 Kcal/día

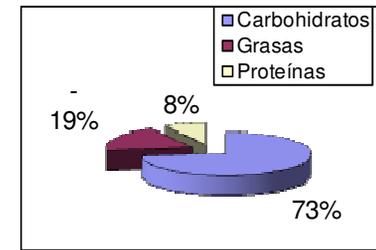
FASE II

Clino



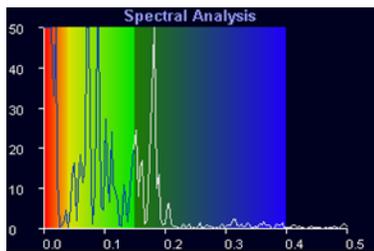
GE: 1702 ± 180.2 Kcal/día

Orto

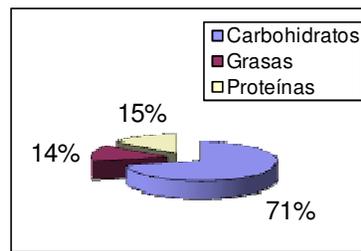


GE: 2039 ± 131.8 Kcal/día

Orto

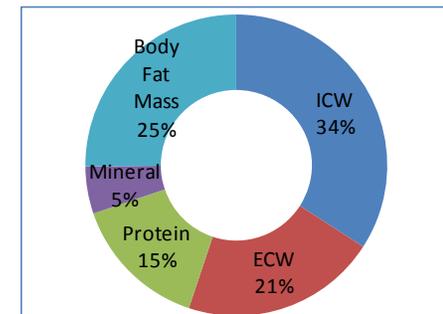


FC: 69 lat/min, LF/HF: 2.0



GE: 1864 ± 240.3 Kcal/día

ACC

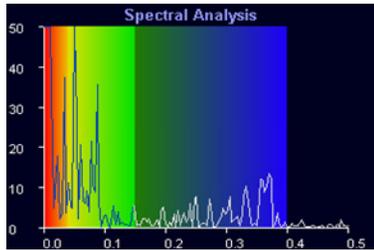


SUJETO 23

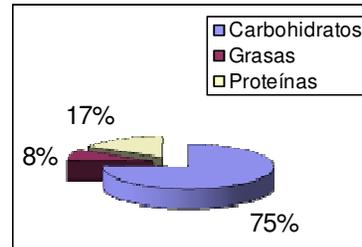
Edad: 24 años Peso: 69.4 Kg
 IMC: 22.7 Kg/m² Estatura: 175 cm
 Observaciones: Sin problemas.

FASE I

Clino



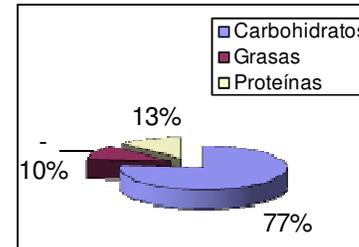
FC: 53 lat/min, LF/HF: 1.2



GE: 1616 ± 116.7 Kcal/día

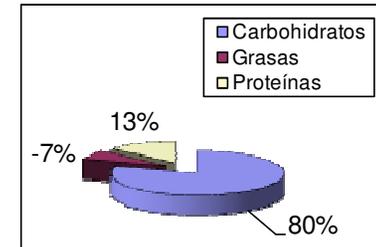
FASE II

Clino



GE: 1642 ± 125.6 Kcal/día

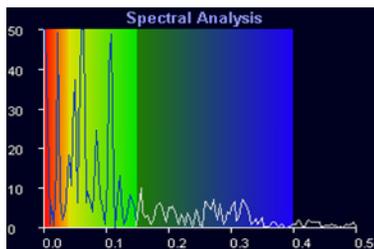
Orto



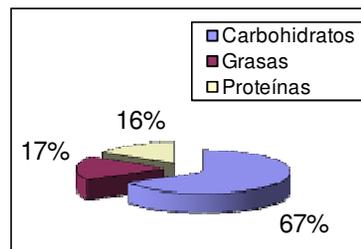
GE: 1721 ± 310.9 Kcal/día

ACC

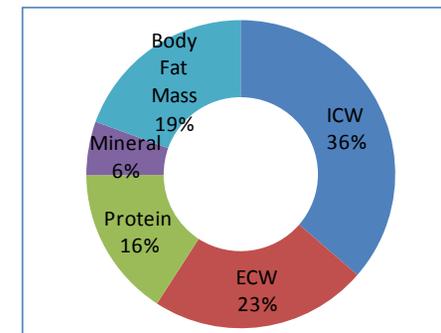
Orto



FC: 58 lat/min, LF/HF: 2.5



GE: 1731 ± 119.9 Kcal/día

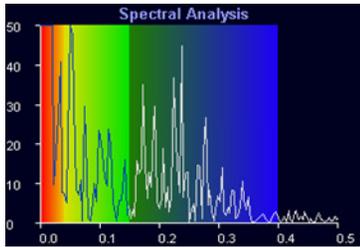


SUJETO 34

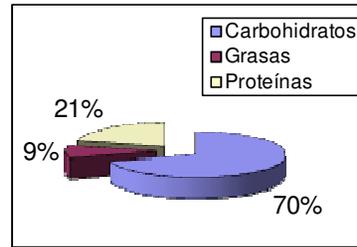
Edad: 31 años Peso: 80.9 Kg
 IMC: 26.9 Kg/m² Estatura: 173.4 cm
 Observaciones: Sin problemas.

FASE I

Clino



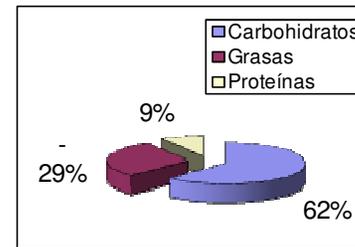
FC: 48 lat/min, LF/HF: 0.7



GE: 1301 ± 95.1 Kcal/día

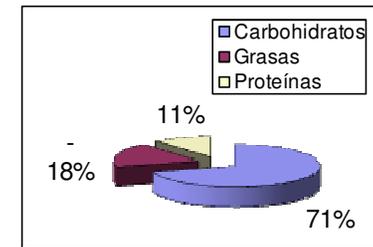
FASE II

Clino



GE: 1250 ± 185.9 Kcal/día

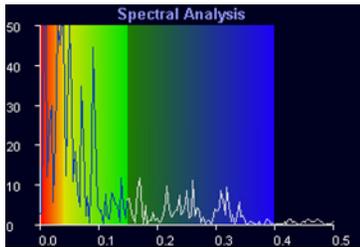
Orto



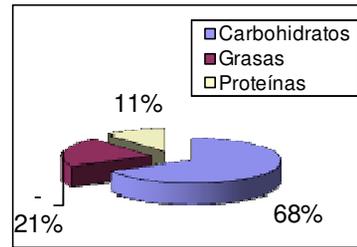
GE: 1491 ± 147.2 Kcal/día

ACC

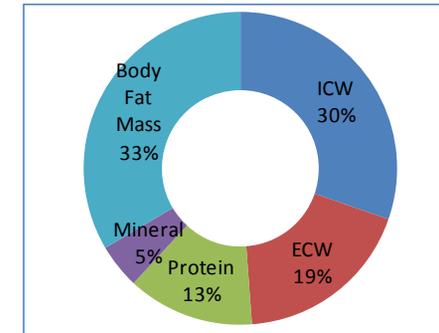
Orto



FC: 59 lat/min, LF/HF: 2.7



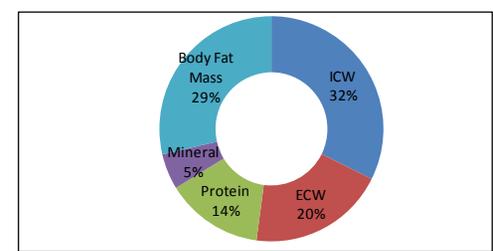
GE: 1357 ± 108.4 Kcal/día



SUJETO 3

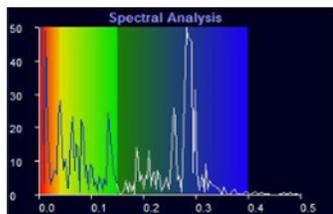
Edad: 21 años Peso: 50.3 Kg
 IMC: 19.9 Kg/m² Estatura: 159 cm
 Observaciones: Sin problemas.

ACC

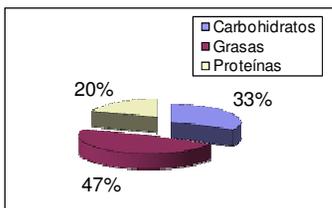


FASE I

Cliño

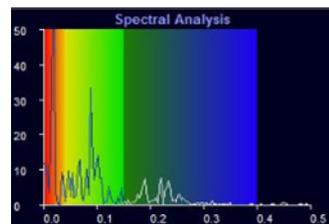


FC: 71 lat/min, LF/HF: 0.6

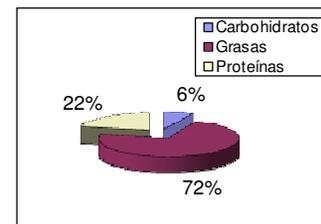


GE: 1361 ± 120 Kcal/día

Orto



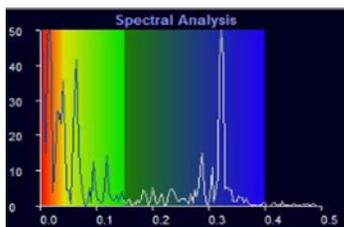
FC: 102 lat/min, LF/HF: 2.2



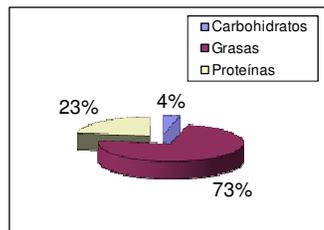
GE: 1322 ± 134.1 Kcal/día

FASE II

Cliño

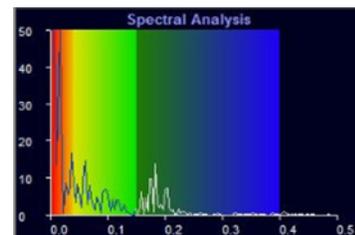


FC: 82 lat/min, LF/HF: 0.8

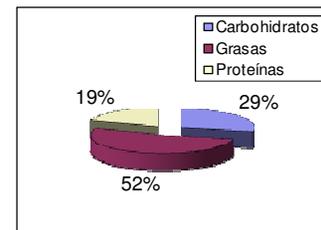


GE: 1419 ± 167.3 Kcal/día

Orto



FC: 107 lat/min, LF/HF: 1.4

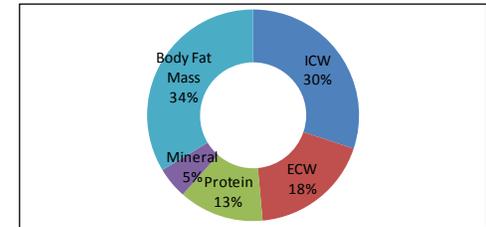


GE: 1466 ± 126.9 Kcal/día

SUJETO 6

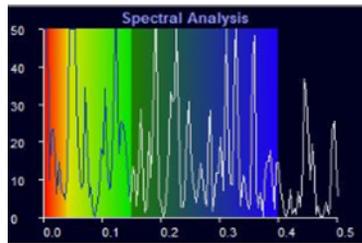
Edad: 20 años Peso: 73 Kg
 IMC: 24.1 Kg/m² Estatura: 174 cm
 Observaciones: En fase I en posición orto finalizando estudio sintió mareo y debilidad.
 Fase II sin problemas.

ACC

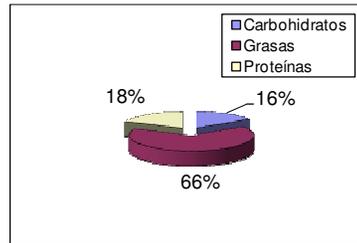


FASE I

Clino

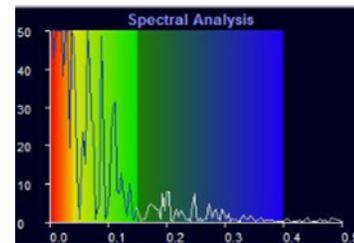


FC: 523 lat/min, LF/HF: 0.7

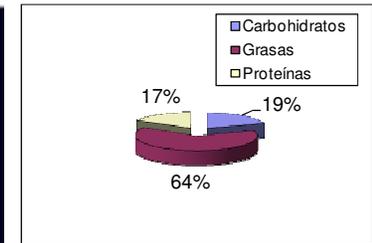


GE: 1566 ± 100 Kcal/día

Orto



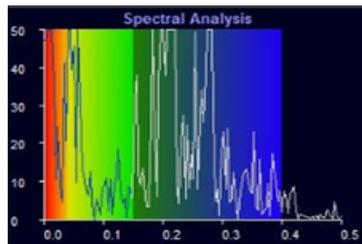
FC: 97 lat/min, LF/HF: 4.2



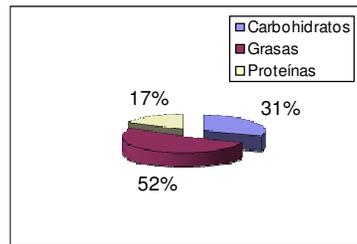
GE: 1706 ± 193.1 Kcal/día

FASE II

Clino

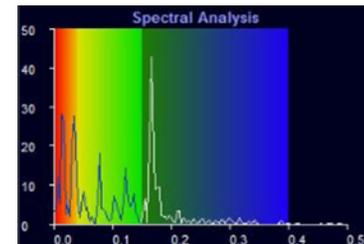


FC: 64 lat/min, LF/HF: 0.3

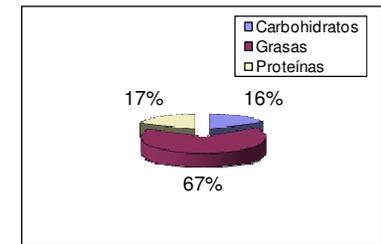


GE: 1690 ± 120 Kcal/día

Orto



FC: 110 lat/min, LF/HF: 0.9

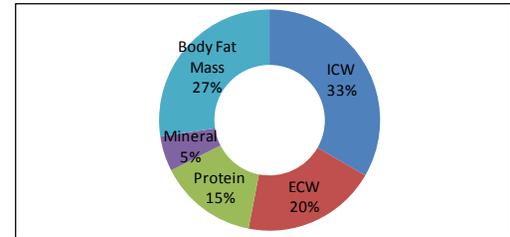


GE: 1647 ± 167.5 Kcal/día

SUJETO 12

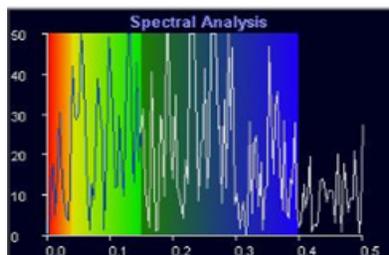
Edad: 23 años Peso: 60 Kg
 IMC: 22.9 Kg/m² Estatura: 162 cm
 Observaciones: Sin problemas.

ACC

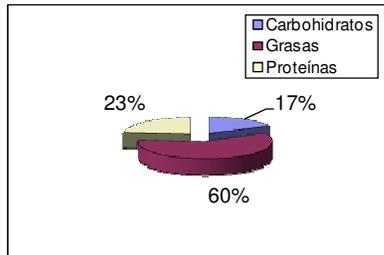


FASE I

Clino

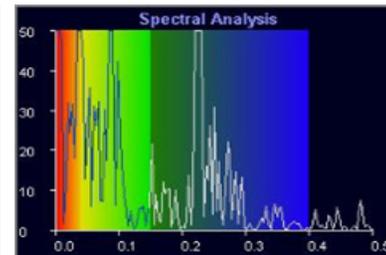


FC: 51 Lat/min LF/HF=0.4

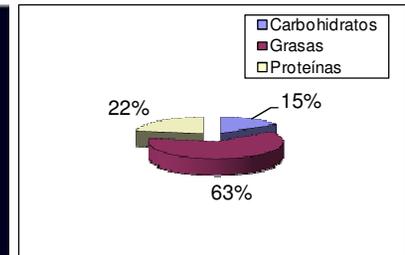


GE: 1209 ± 93.2 Kcal/día

Orto



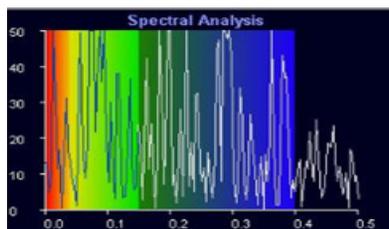
FC: 66 Lat/min LF/HF=1



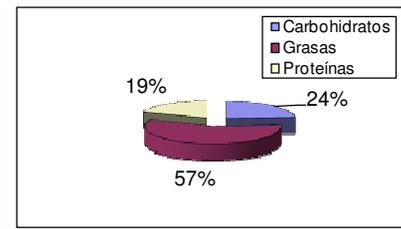
GE: 1301 ± 121.3 Kcal/día

FASE II

Clino

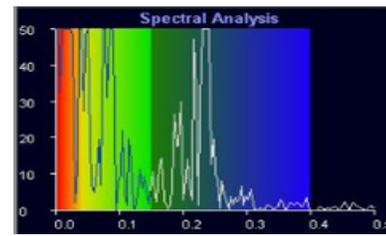


FC: 57 Lat/min LF/HF=0.3

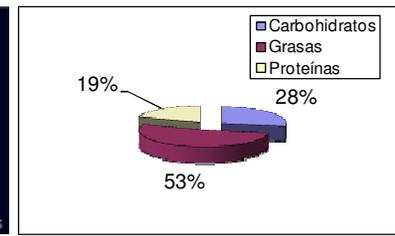


GE: 1500 ± 107 Kcal/día

Orto



FC: 66 Lat/min LF/HF=1

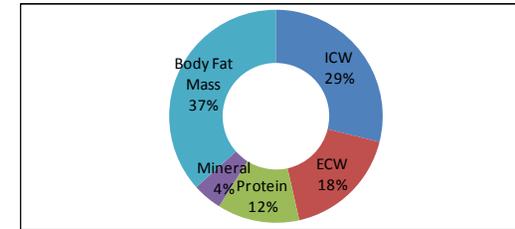


GE: 1454 ± 154 Kcal/día

SUJETO 16

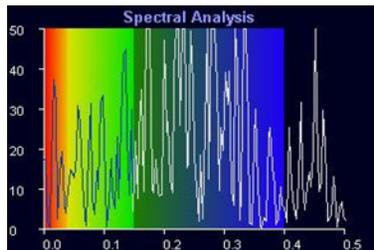
Edad: 23 años Peso: 58.4 Kg
 IMC: 23.7 Kg/m² Estatura: 157 cm
 Observaciones: Sin problemas.

ACC

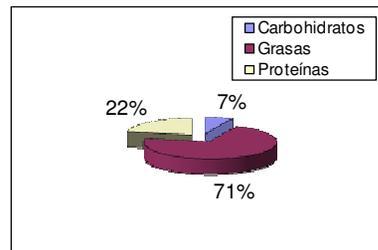


FASE I

Clino

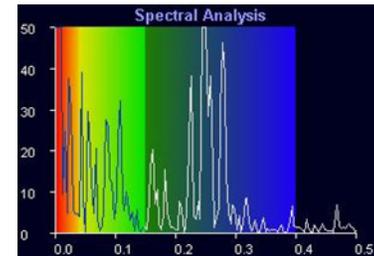


FC: 53 Lat/min LF/HF=0.3

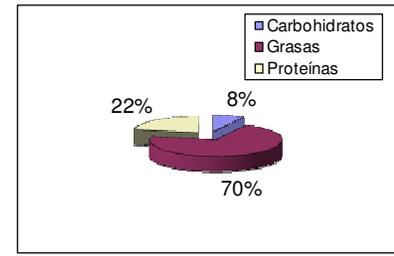


GE: 1309 ± 123.1 Kcal/día

Orto



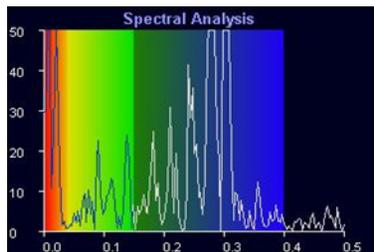
FC: 73 Lat/min LF/HF= 0.5



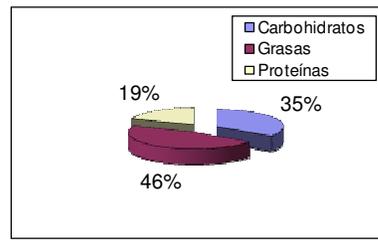
GE: 1309 ± 89.0 Kcal/día

FASE II

Clino

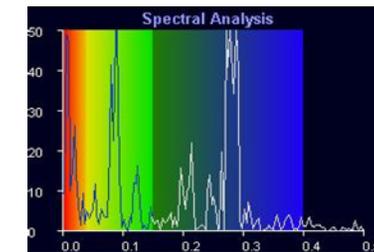


FC: 64 Lat/min LF/HF= 0.2

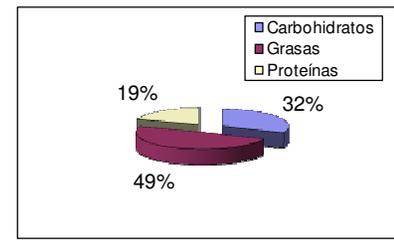


GE: 1471 ± 103.7 Kcal/día

Orto



FC: 83 Lat/min LF/HF=0.6

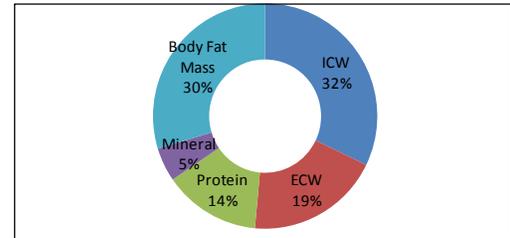


GE: 1453 ± 103.5 Kcal/día

SUJETO 23

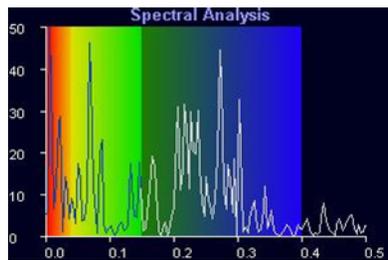
Edad: 21 años Peso: 48.5 Kg
 IMC: 22.4 Kg/m² Estatura: 147 cm
 Observaciones: Sin problemas.

ACC

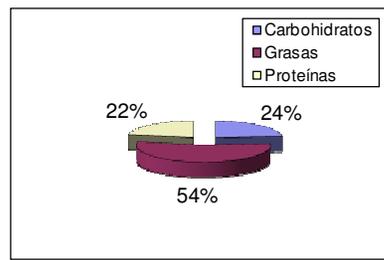


FASE I

Clino

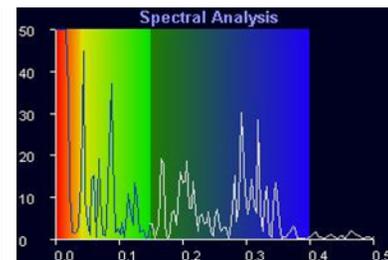


FC: 70 Lat/min LF/HF=0.4

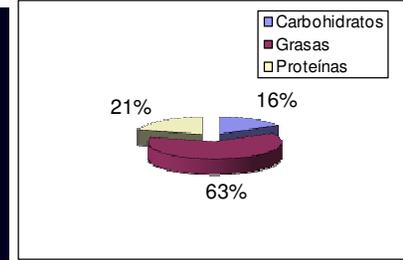


GE: 1292 ± 101.6 Kcal/día

Orto



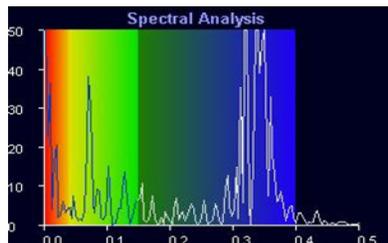
FC: 78 Lat/min LF/HF=0.6



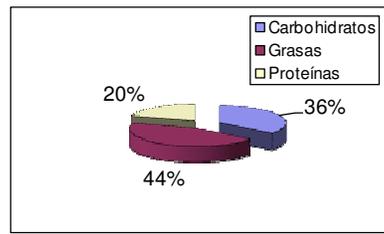
GE: 1382 ± 150.5 Kcal/día

FASE II

Clino

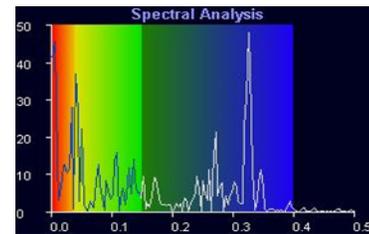


FC: 73 Lat/min LF/HF=0.3

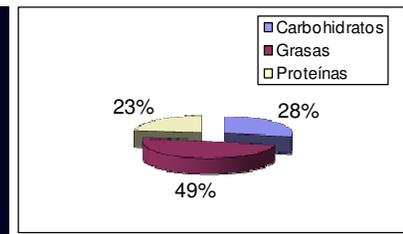


GE: 1397 ± 81.4 Kcal/día

Orto



FC: 83 Lat/min LF/HF=0.6

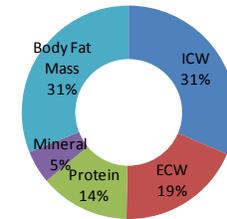


GE: 1237 ± 109.5 Kcal/día

SUJETO 26

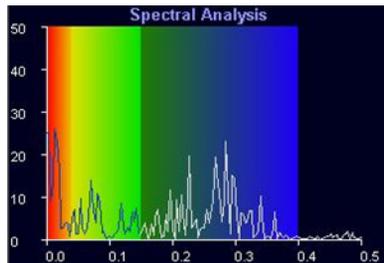
Edad: 26 años Peso: 59.4 Kg
 IMC: 22.6 Kg/m² Estatura: 162 cm
 Observaciones: Sin problemas.

ACC

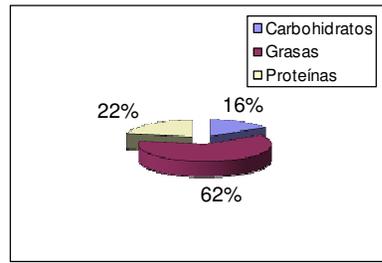


FASE I

Clino

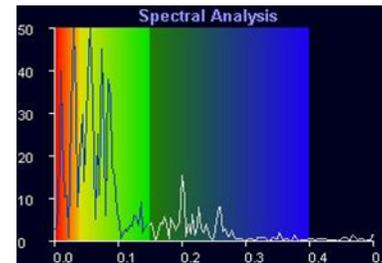


FC: 64 Lat/min LF/HF=0.4

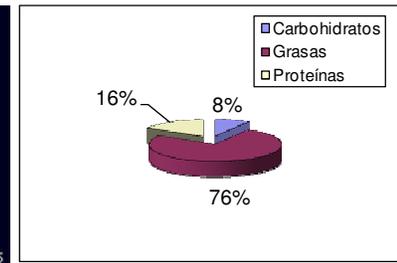


GE: 1304 ± 110.3 Kcal/día

Orto



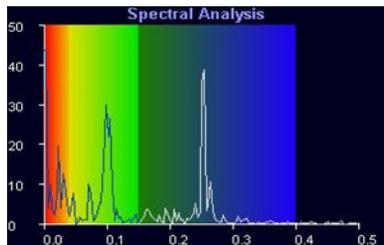
FC: 86 Lat/min LF/HF= 3.3



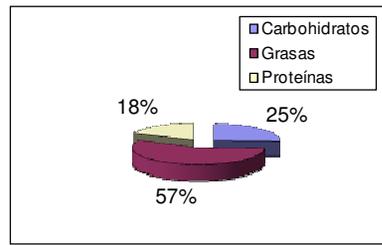
GE: 1484 ± 117.7 Kcal/día

FASE II

Clino

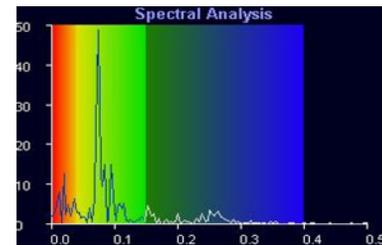


FC: 78 Lat/min LF/HF=1.0

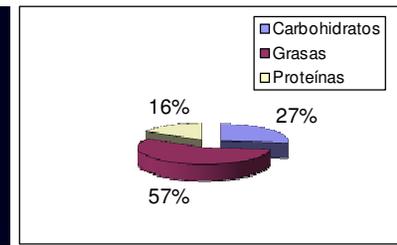


GE: 1575 ± 98.5 Kcal/día

Orto



FC: 97 Lat/min LF/HF=3.4

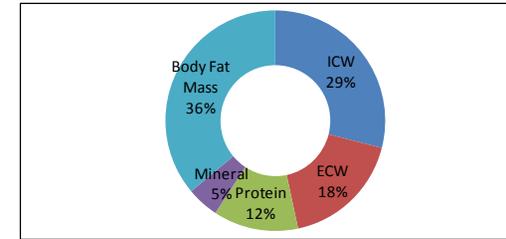


GE: 1706 ± 115.8 Kcal/día

SUJETO 27

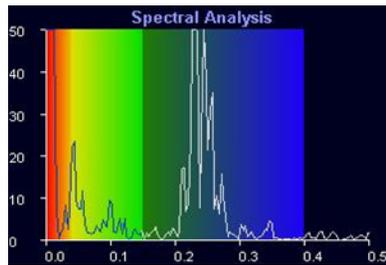
Edad: 22 años Peso: 67.2 Kg
 IMC: 24.7 Kg/m² Estatura: 165 cm
 Observaciones: Sin problemas.

ACC

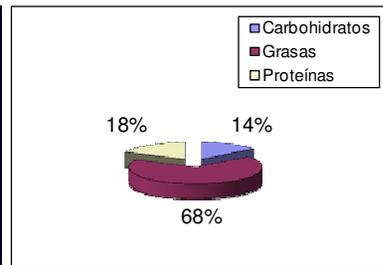


FASE I

Clino

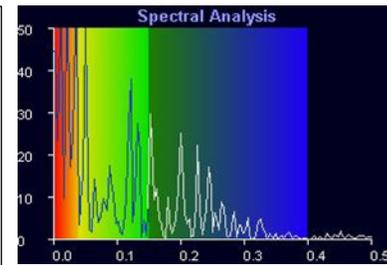


FC: 67 Lat/min LF/HF=0.3

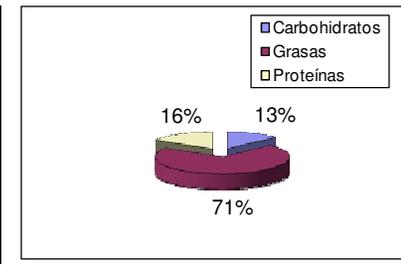


GE: 1304 ± 110.3 Kcal/día

Orto



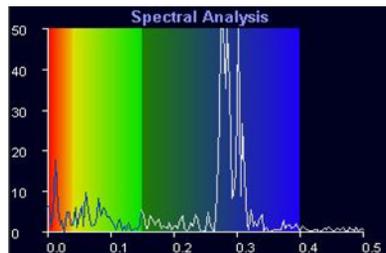
FC: 88 Lat/min LF/HF= 1.1



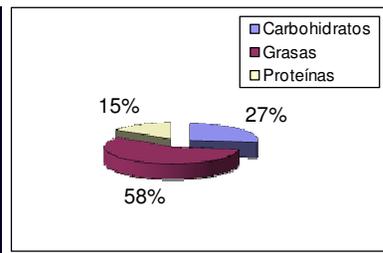
GE: 1484 ± 117.7 Kcal/día

FASE II

Clino

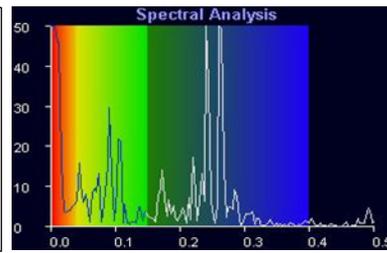


FC: 64 Lat/min LF/HF= 0.2

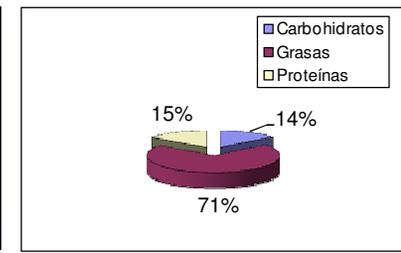


GE: 1575 ± 98.5 Kcal/día

Orto



FC: 81 Lat/min LF/HF=0.5

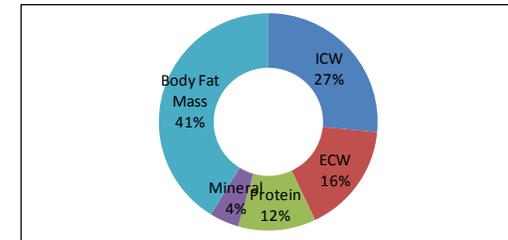


GE: 1706 ± 115.8 Kcal/día

SUJETO 29

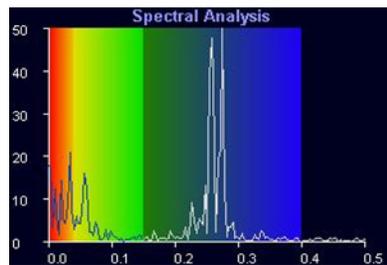
Edad: 21 años Peso: 60.2 Kg
 IMC: 23.8 Kg/m² Estatura: 159 cm
 Observaciones: Sin problemas.

ACC

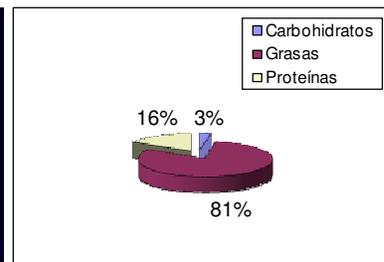


FASE I

Clino

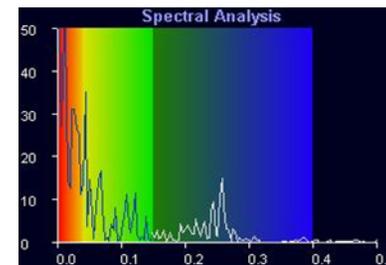


FC: 60 Lat/min LF/HF=0.3

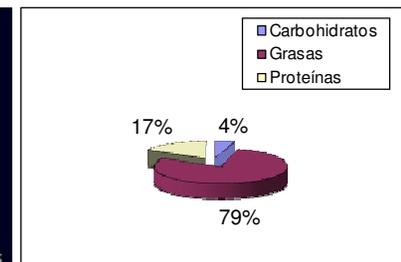


GE: 1770 ± 90.4 Kcal/día

Orto



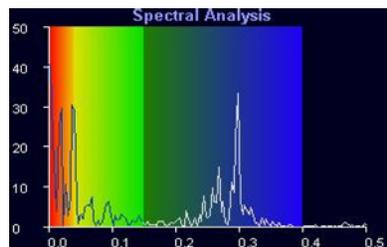
FC: 77 Lat/min LF/HF= 1.5



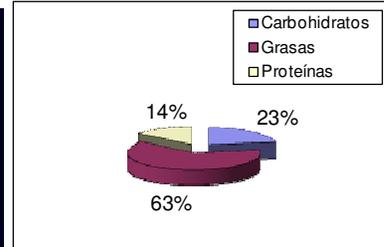
GE: 1678 ± 89.4 Kcal/día

FASE II

Clino

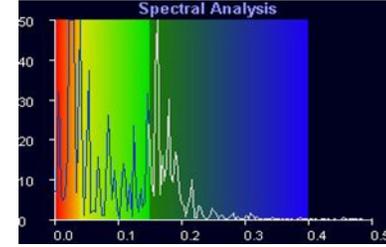


FC: 64 Lat/min LF/HF= 0.5

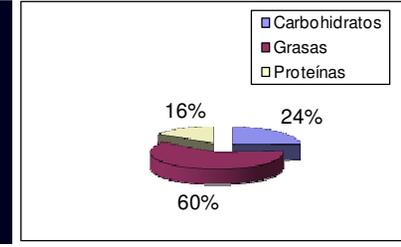


GE: 1974 ± 105.3 Kcal/día

Orto



FC: 77 Lat/min LF/HF=1.2



GE: 1803 ± 137.1 Kcal/día

ANEXO 3: FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Estudio de la Composición Corporal Funcional Mediante Bioimpedancia, Calorimetría Indirecta y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca

Investigadores: Ing. Gisella Yolanda Borja Roncallo, M. en C. Miguel Cadena Méndez.

Colaboradores: Lic. Magdalena Rodríguez Magallanes, Est. Lorena Ferreira, Est. Raquel Damaris Ponce de León Álvarez, Est. Laura Aguilar Caballero, Est. Rafael Hernández Castillo, Est. Ericka Stanford Alcántara.

Este estudio pretende implementar la técnica del análisis de la composición corporal funcional (ACCF) por medio de la medición de la composición corporal por bioimpedancia, gasto energético por calorimetría indirecta y medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

Si desea participar en el estudio deberá permanecer en ayuno mínimo de 8 hrs., y no realizar ninguna actividad física durante las últimas 8 horas previas al estudio. El estudio tiene una duración de aproximadamente dos horas y consta de dos fases:

Fase 1: Sujeto en ayunas

1. Interrogatorio y firma de la carta de consentimiento.
2. Medición de glucosa con el glucómetro portátil.
3. Medición de talla del sujeto.
4. Medición de peso corporal y de composición corporal con ropa ligera y descalzo.
5. Medición del gasto energético en posición clinostática. El sujeto deberá estar acostado boca arriba, en reposo, relativamente tranquilo y despierto. El registro inicia a los 5 minutos durante 15 minutos.
6. Hombres: Medición del gasto energético en posición ortostática. El sujeto deberá estar de pie, con los brazos a lo largo del cuerpo alzando dos mancuernas de 3Kg cada una sin moverlas. El registro inicia a los 5 minutos durante 15 minutos.
7. Mujeres: Medición del gasto energético en posición ortostática. El sujeto deberá estar de pie, con los brazos a lo largo del cuerpo. El registro inicia a los 5 minutos durante 15 minutos.
8. Medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en paralelo con la medición del gasto energético en clinostatismo y ortostatismo.

Al término de la primera fase se le proporcionará una ingesta cuyo contenido energético es conocido. Dando inicio una hora después a la segunda fase.

Fase 2: Sujeto en Posprandial de una hora

1. Medición de glucosa
2. Medición del gasto energético y de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en posición clinostática y ortostática, en forma análoga a la Fase I.

Dicho estudio NO REPRESENTA RIESGO ALGUNO a su salud por ser un método no invasivo. No tiene ningún costo, y usted puede solicitar sus resultados para su uso personal.

La participación en este estudio es voluntaria y usted puede negarse a dar cualquier información personal en cualquier fase del estudio, y retirarse cuando lo desee. La información de este estudio será confidencial, utilizada con fines estadísticos, y publicada de manera que sea imposible

identificarlo personalmente. Si requiere más información la puede solicitar en cualquier momento del estudio.

Al firmar este consentimiento, usted acepta permitir a los investigadores del LAMEMyH hacer un análisis de su composición corporal funcional.

Yo _____ he leído la información suministrada arriba. Voluntariamente consiento en participar en el estudio permitiendo a los investigadores del LAMEMyH usar la información adquirida de mi persona.

Nombre del Participante

Firma del Participante

Nombre del Testigo 1

Firma del Testigo 1

Nombre del Testigo 2

Firma del Testigo 2

Nombre del que solicita el consentimiento

Firma del que solicita el consentimiento

Nombre del Investigador

Firma del Investigador

Fecha



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD IZTAPALAPA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**Estudio de la Composición Corporal Funcional
Mediante Bioimpedancia, Calorimetría Indirecta
y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca**

T E S I S

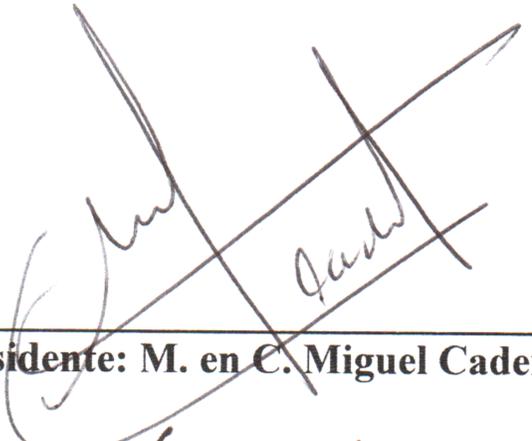
**Para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS (INGENIERÍA BIOMÉDICA)**

P R E S E N T A:

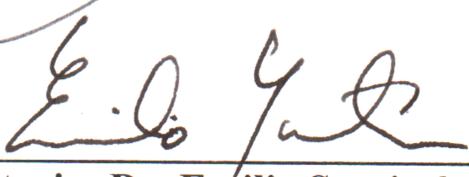
ING. GISELLA YOLANDA BORJA RONCALLO

A S E S O R: M. en C. MIGUEL CADENA MÉNDEZ

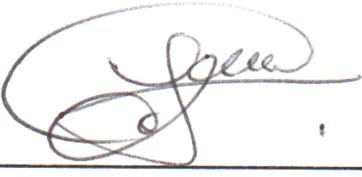
Jurado Calificador:



Presidente: M. en C. Miguel Cadena Méndez



Secretario: Dr. Emilio Sacristán Rock



Vocal: Dra. Claudia Lerma González

**México D.F.
Diciembre, 14 de 2010**